



TUGAS AKHIR - MN141581

**ANALISIS LAPISAN BATAS UNTUK MENGETAHUI
PERTUMBUHAN *MARINE FOULING* PADA LAMBUNG
KAPAL DIBAWAH GARIS AIR DENGAN MENGGUNAKAN
PROGRAM CFD**

MUHAMMAD NIZAR NURROHMAN
NRP. 4112 1000 67

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017



TUGAS AKHIR - MN 141581

**ANALISIS LAPISAN BATAS UNTUK MENGETAHUI
PERTUMBUHAN *MARINE FOULING* PADA LAMBUNG
KAPAL DIBAWAH GARIS AIR DENGAN MENGGUNAKAN
PROGRAM CFD**

MUHAMMAD NIZAR NURROHMAN
NRP. 4112 1000 67

Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc, Ph. D

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017



FINAL PROJECT - MN 141581

**THE ANALYSIS OF BOUNDARY LAYER TO IDENTIFY THE
GROWTH OF MARINE FOULING ON THE SHIP HULL
UNDER WATER LINE BY USING CFD PROGRAM**

MUHAMMAD NIZAR NURROHMAN
NRP. 4112 1000 67

Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc, Ph. D

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2017

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS LAPISAN BATAS UNTUK MENGETAHUI PERTUMBUHAN MARINE FOULING PADA LAMBUNG KAPAL DIBAWAH GARIS AIR DENGAN MENGGUNAKAN PROGRAM CFD

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Hidrodinamika Kapal
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MUHAMMAD NIZAR NURROHMAN
NRP. 4112 100 067

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:



Dosen Pembimbing

Prof. Ir. I Ketut Aria Priya Utama, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19670406 199203 1 001

SURABAYA, 20 JANUARI 2017

LEMBAR REVISI

ANALISIS LAPISAN BATAS UNTUK MENGETAHUI PERTUMBUHAN MARINE FOULING PADA LAMBUNG KAPAL DIBAWAH GARIS AIR DENGAN MENGUNAKAN PROGRAM CFD

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 12 Januari 2017

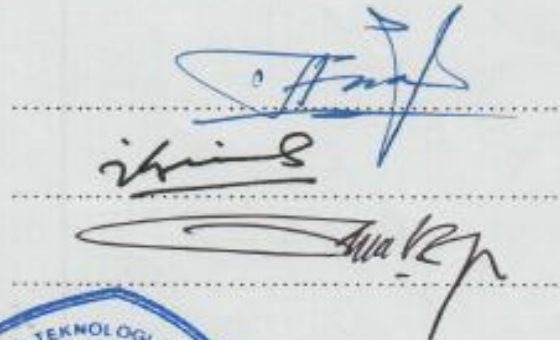
Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Perancangan Kapal
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MUHAMMAD NIZAR NURROHMAN
NRP. 4112 100 067

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Totok Yulianto, S.T., M.T.
2. Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc.
3. Dedi Budi Purwanto, S.T., M.T.



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Prof. Ir. I K.A.P. Utama, M.Sc., Ph.D.



SURABAYA, 20 JANUARI 2017

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim,

Puji syukur saya ucapkan kepada Allah Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, atas segala limpahan Rahmat, Rezeki dan Karunia-Mu Tugas Akhir ini dapat saya selesaikan.

Terimakasih sebesar-besarnya saya ucapkan kepada:

1. Bapak dan Ibu yang senantiasa memberikan dukungan, doa, dan nasehat yang selalu menjadi pedoman serta semangat dalam perjalanan hidup peneliti;
2. Bapak Prof. Ir. I K. A. P. Utama, M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah meluangkan waktu dan kesabarannya untuk membimbing penulis serta memberikan arahan selama pengerjaan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan MSc PhD. selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS, serta segenap dosen & karyawan Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS.
4. Teman-teman seperjuangan Hidrodinamika (mas Hadi, mas Syawal, Mas Sutio, Margono dan Agung), terimakasih telah ada untuk berjuang bersama dalam menyelesaikan Tugas Akhir maupun Thesis.
5. Untuk saudara seperjuangan Forcastle (P-52) kalian menjadi semangat yang luar biasa dalam perkuliahan ini. Terimakasih buat kalian semua, semoga kalian berhasil menaklukkan segala rintangan kehidupan dan kita semua menjadi orang yang sukses.
6. Segenap rekan-rekan mahasiswa ITS pada umumnya, dan mahasiswa Teknik Perkapalan FTK-ITS pada khususnya, yang telah belajar, berkarya dan berjuang bersama penulis.
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam pengerjaan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki beberapa kekurangan. Untuk itu, penulis mengharapkan saran dan kritik demi kesempurnaan tugas akhir ini. Besar harapan penulis agar tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi perkembangan dunia perkapalan Indonesia

Surabaya, Januari 2017

Penulis

ANALISIS LAPISAN BATAS UNTUK MENGETAHUI PERTUMBUHAN *MARINE FOULING* PADA LAMBUNG KAPAL DIBAWAH GARIS AIR DENGAN MENGGUNAKAN PROGRAM CFD

Nama Mahasiswa : Muhammad Nizar Nurrohman
NRP : 4112 100 067
Jurusan / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. I K. A. P. Utama M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Pertumbuhan marine fouling di indonesia cukup tinggi, hal ini dikarenakan adanya iklim tropis yang berada di indonesia. Tingginya pertumbuhan marine fouling mengakibatkan bertambahnya nilai hambatan pada kapal, yang kemudian bisa merusak kondisi mesin. Berbagai upaya dilakukan untuk mencegah pertumbuhan marine fouling, salah satunya adalah menganalisis faktor yang mempengaruhi pertumbuhan marine fouling untuk meminimalisir pertumbuhan marine fouling. Dalam tugas akhir ini akan dianalisa pengaruh karakteristik lapisan batas (kecepatan aliran potensial, tegangan geser maupun turbulensi aliran) terhadap pertumbuhan marine fouling. Hal ini bertujuan agar pertumbuhan marine fouling bisa diminimalisir dengan mengenali keterkaitan antara karakteristik lapisan batas terhadap pertumbuhan marine fouling. Penelitian ini dilakukan dengan cara mengambil data pertumbuhan marine fouling pada kapal Caraka, yang kemudian dimodelkan dalam software ansys CFX. Dalam pemodelan, kapal dibagi menjadi 10 bagian secara memanjang dan dua bagian secara melintang. Kapal selanjutnya dianalisa pada masing-masing bagian, dimana analisa meliputi tekanan, kecepatan aliran potensial, tegangan geser maupun turbulensi aliran. Dalam penelitian ini diberikan beberapa kondisi batas yaitu kecepatan kapal divariasikan menjadi 12 knot dan 6 knot, serta lambung kapal dimodelkan dengan kondisi tanpa kekasaran dan dengan kekasaran. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa pertumbuhan marine fouling mempunyai keterkaitan pola kecenderungan terhadap karakteristik lapisan batas. Penurunan kecepatan, tegangan geser permukaan dan turbulensi lapisan batas pada daerah lambung kapal menyebabkan peningkatan pertumbuhan marine fouling, sedangkan penurunan tekanan aliran air pada daerah lambung kapal dapat menyebabkan menurunnya pertumbuhan marine fouling. Pertumbuhan marine fouling maksimal terjadi pada saat variabel hidrodinamis minimum yaitu pada posisi haluan dengan ketinggian marine fouling 10 mm dan besar rata-rata nilai kecepatan 5.07 m/s, turbulensi 0.007 J/m^2 , tegangan geser 6.78 Pa dan tekanan 0.81kPa pada kecepatan dinas.

Kata Kunci : lapisan batas, marine fouling, kekasaran, variabel hidrodinamis

THE ANALYSIS OF BOUNDARY LAYER TO IDENTIFY THE GROWTH OF MARINE FOULING ON THE SHIP HULL UNDER WATER LINE BY USING CFD PROGRAM

Author : Muhammad Nizar Nurrohman
ID Number : 4112 100 067
Dept/Faculty : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Supervisor : Prof. Ir. I K. A. P. Utama M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

The growth of marine fouling in Indonesia is quite high, this is due to the tropical climate of Indonesia. The high growth of marine fouling resulting in increased value of resistance on the vessel, which then can cause deterioration of the engine. Various attempts were made to prevent the growth of marine fouling, one of which is to analyze the factors that affect the growth of marine fouling to minimize the growth of marine fouling. This research studies the influence of the boundary layer characteristics (water flow velocity, shear stress, turbulence and pressure) on the growth of marine fouling. This to minimize the growth of marine fouling by recognizing the linkage the characteristics of the boundary layer and the growth of marine fouling. The data of the research was growth of marine fouling taken from caraka ship, which is then modeled in ANSYS CFX software. In modeling, the ship was divided into 10 lengthwise sections and two crosswise section. Ship were analyzed in each section, including pressure, water flow velocity profile, the shear stress and turbulence. This study was limited only to the boat speed 12 knots and 6 knots, and the ship's hull modeled with the condition without roughness and ruddiness. The results of this study indicate that the growth of marine fouling is interrelated patterns tendency toward boundary layer characteristics. Decrease speed, surface shear stress and turbulence in the boundary layer area of the hull causes increased growth of marine fouling, while the pressure drop of water flow in the bilge area can lead to decreased growth of marine fouling. The maximum growth of marine fouling occurs when the variable minimum hydrodynamics is on the bow with a height of 10 mm and a marine fouling great average speed value of 5.07 m / s, turbulence 0.007 J / m², 6.78 Pa shear stress and pressure 0.81kPa at a speed services.

Keyword : boundary layer, marine fouling, roughness, hydrodynamics variable

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Hipotesis.....	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 Pendahuluan	5
2.2 Teori Mengenai Aliran Fluida.....	5
2.3 Teori Lapisan Batas	8
2.4 Separasi Aliran	10
2.5 Profil Kecepatan Lapisan Batas	11
2.6 Profil Tegangan Geser Permukaan.....	15
2.7 Profil Turbulensi Lapisan Batas	17
2.8 Teori Pertumbuhan Organisme <i>Marine fouling</i>	19
2.9 <i>Computational Fluid Dynamic</i> (CFD)	20
BAB III METODOLOGI	27
3.1 Pendahuluan	27

3.2	Diagram Alir.....	27
3.3	Tahap – Tahap Pengerjaan Tugas Akhir	28
3.3.1	Studi Literatur	28
3.3.2	Pengumpulan Data Kapal.....	28
3.3.3	Pengumpulan Data Pertumbuhan <i>Marine fouling</i>	29
3.3.4	Pembuatan Model Lambung Kapal.....	30
3.3.5	Simulasi CFD	31
3.3.6	Validasi <i>Software</i>	32
3.3.7	Menghitung Tegangan Geser, Kecepatan aliran potensial pada Badan Kapal serta Nilai Turbulensi Lambung Kapal.....	33
3.3.8	Perbandingan Karakteristik Lapisan batas terhadap Pertumbuhan <i>Marine fouling</i>	34
3.4	Spesifikasi Komputer untuk Perhitungan Numerik.....	34
BAB IV PEMBUATAN MODEL kapal dan simulasi.....		35
4.1	Pendahuluan	35
4.2	Perhitungan Pertumbuhan <i>Marine fouling</i> pada Lambung Kapal.....	35
4.3	Pembuatan Model Lambung Kapal <i>Semi Container</i> Caraka dengan menggunakan <i>software</i> Maxsurf.	38
4.4	Permodelan Kapal <i>Semi Container</i> Caraka pada Ansys CFX.....	40
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		51
5.1	Pendahuluan	51
5.2	Hasil <i>Running</i> Kapal <i>Semi Container</i> Caraka pada Lambung Tanpa Kekasaran	51
5.3	Hasil <i>Running</i> Kapal <i>Semi Container</i> Caraka pada Lambung dengan Kekasaran Merata.....	66
5.4	Hasil <i>Running</i> Kapal <i>Semi Container</i> Caraka pada Lambung dengan Kekasaran Tidak Merata	81
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....		98
6.1	Kesimpulan.....	99

6.2	Saran.....	99
DAFTAR PUSTAKA.....		101

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Perbedaan (a) Fluida Ideal, (b) Fluida Viscous	6
Gambar 2. 2 Aliran Sparasi dibelakang Benda.....	7
Gambar 2. 3 Grafik Variasi <i>Friction Drag</i>	8
Gambar 2. 4 <i>Boundary Layer</i> pada Pelat Datar.....	9
Gambar 2. 5 Aliran pada Lintasan Berbentu Silinder	11
Gambar 3. 1 <i>Lines Plan</i> Kapal <i>Semi Container</i> Caraka	29
Gambar 3. 2 Pembagian <i>Station</i> pada Model Kapal.....	31
Gambar 3. 3 Konvergensi Simulasi <i>Full Viscous</i>	32
Gambar 3. 4 Bentuk <i>Grid</i> pada ICEM Ansys CFX.....	33
Gambar 4. 1 Pembagian Kurva pada Masing-masing Daerah.....	36
Gambar 4. 2 Model Kapal <i>Semi Container</i> Caraka pada Maxurf Pro	39
Gambar 4. 3 Pembagian Model Kapal.....	40
Gambar 4. 4 Pemasangan <i>Surface</i> pada Lambung Kapal.....	41
Gambar 4. 5 Proses <i>Meshing Tetrahedral</i> pada Fluid	42
Gambar 4. 6 Gambar Dimensi Domain	43
Gambar 4. 7 Gambar Bagian-bagian <i>Boundary Condition</i>	45
Gambar 4. 8 Proses <i>Input Turbulent Setting</i> dan Kriteria Konvergensi.....	46
Gambar 4. 9 Kriteria Konvergensi Berdasarkan Residual Target	47
Gambar 4. 10 <i>Grid Independence</i> pada Model Kapal Caraka.....	48
Gambar 4. 11 Nilai y^+ pada Ansy CFX	49
Gambar 5. 1 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan <i>Marine Fouling</i> Terhadap Tegangan Geser	53
Gambar 5. 2 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan <i>Marine Fouling</i> Terhadap Tekanan.....	54
Gambar 5. 3 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan <i>Marine Fouling</i> Terhadap Kecepatan Aliran Potensial Potensial Searah Sumbu X.....	55
Gambar 5. 4 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan <i>Marine Fouling</i> Terhadap Energi Kinetik Turbulen.....	57
Gambar 5. 5 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan <i>Marine Fouling</i> Terhadap Tegangan Geser	60

Gambar 5. 6 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan <i>Marine Fouling</i> Terhadap Tekanan.....	61
Gambar 5. 7 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan <i>Marine Fouling</i> Terhadap Kecepatan Aliran Potensial Searah X.....	62
Gambar 5. 8 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan <i>Marine Fouling</i> Terhadap Energi Kinetik Turbulen.....	64
Gambar 5. 9 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan <i>Marine Fouling</i> Terhadap Tegangan Geser	68
Gambar 5. 10 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan <i>Marine Fouling</i> Terhadap Tekanan.....	69
Gambar 5. 11 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan <i>Marine Fouling</i> Terhadap Kecepatan Aliran Potensial Searah X.....	71
Gambar 5. 12 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan <i>Marine Fouling</i> Terhadap Energi Kinetik Turbulen.....	72
Gambar 5. 13 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan <i>Marine Fouling</i> Terhadap Tegangan Geser	75
Gambar 5. 14 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan <i>Marine Fouling</i> Terhadap Tekanan.....	76
Gambar 5. 15 Kurva pola kecenderungan pertumbuhan <i>marine fouling</i> terhadap kecepatan aliran potensial searah x.....	78
Gambar 5. 16 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan <i>Marine Fouling</i> Terhadap Energi Turbulen.....	79
Gambar 5. 17 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan <i>Marine Fouling</i> Terhadap Tegangan Geser	84
Gambar 5. 18 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan <i>Marine Fouling</i> Terhadap Tekanan.....	85
Gambar 5. 19 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan <i>Marine Fouling</i> Terhadap Kecepatan Aliran Potensial Searah X.....	86
Gambar 5. 20 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan <i>Marine Fouling</i> Terhadap Energi Kinetik Turbulen.....	88
Gambar 5. 21 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan <i>Marine Fouling</i> Terhadap Tegangan Geser	91
Gambar 5. 22 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan <i>Marine Fouling</i> Terhadap Tekanan.....	92

Gambar 5. 23 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan <i>Marine Fouling</i> Terhadap Kecepatan Aliran Potensial Searah x.....	94
Gambar 5. 24 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan <i>Marine Fouling</i> Terhadap Energi Kinetik Turbulen.....	95

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Ukuran Utama Kapal <i>Semi Container</i> Caraka.....	29
Tabel 3. 2 Pertumbuhan <i>Marine Fouling</i> pada Lambung Kapal Caraka.....	30
Tabel 4. 1. Perhitungan luasan pada masing-masing bagian.....	36
Tabel 4. 2. Perhitungan perkalian tinggi <i>marine fouling</i> terhadap luasan	37
Tabel 4. 3. Tinggi rata-rata <i>marine fouling</i> pada lambung kapal	38
Tabel 4. 4. Validasi Hidrostatik semi container Caraka pada maxsurf	39
Tabel 4. 5. Pendefinisian kondisi batas	45
Tabel 4. 6. <i>Grid independence</i>	48
Tabel 4. 7. Nilai y^+ pada model	49
Tabel 4. 8. Nilai C_f pada lambung kapal	50
Tabel 5. 1 Nilai Kecepatan Aliran Potensial (U_e), Tekanan (P), Tegangan Geser (τ_w) dan Energi Kinetik Turbulen (k) Kapal Caraka pada Ketinggian 1.5 – 3 meter (12 knot).....	52
Tabel 5. 2 Nilai kecepatan aliran potensial (U_e), tekanan (P), tegangan geser (τ_w) dan energi kinetik turbulen (k) kapal semi container Caraka ketinggian 1.5 – 3 meter (6 knot)	52
Tabel 5. 4 Nilai kecepatan aliran potensial (U_e), tekanan (P) , tegangan geser (τ_w) dan energi kinetik turbulen (k) kapal semi container Caraka ketinggian 3 – 4.5 meter (12 knot)	58
Tabel 5. 5 Nilai kecepatan aliran potensial (U_e), tekanan (P) , tegangan geser (τ_w) dan energi kinetik turbulen (k) kapal semi container Caraka ketinggian 3 – 4.5 meter (6 knot)	59
Tabel 5. 6 Nilai kecepatan aliran potensial (u), tekanan (P) , tegangan geser (τ_w) dan energi kinetik turbulen (k) kapal semi container Caraka ketinggian 1.5 – 3 meter (12 knot)	67
Tabel 5. 7 Nilai kecepatan aliran potensial (u), tekanan (P) , tegangan geser (τ_w) dan energi kinetik turbulen (k) kapal semi container Caraka ketinggian 1.5 – 3 meter (6 knot)	67
Tabel 5. 8 Nilai kecepatan aliran potensial (u), tekanan (P) , tegangan geser (τ_w) dan energi kinetik turbulen (k) kapal semi container Caraka ketinggian 3 – 4.5 meter (12 knot)	74

Tabel 5. 9 Nilai kecepatan aliran potensial (u), tekanan (P) , tegangan geser (τ_w) dan energi kinetik turbulen (k) kapal semi container Caraka ketinggian 3 – 4.5 meter (6 knot)	74
Tabel 5. 10 Nilai kecepatan aliran potensial (u), tekanan (P) , tegangan geser (τ_w) dan energikinetik turbulen (k) kapal semi container Caraka ketinggian 1.5 – 3 meter (12 knot)	82
Tabel 5. 11 Nilai kecepatan aliran potensial (u), tekanan (P) , tegangan geser (τ_w) dan energi kinetik turbulen (k) kapal semi container Caraka ketinggian 1.5 – 3 meter (6 knot)	83
Tabel 5. 12 Nilai kecepatan aliran potensial (U_e), tekanan (P) , tegangan geser (τ_w) dan energi kinetik turbulen (k) kapal semi container Caraka ketinggian 3 – 4.5 meter (6 knot)	90
Tabel 5. 13 Nilai kecepatan aliran potensial (U_e), tekanan (P) , tegangan geser (τ_w) dan energi kinetik turbulen (k) kapal semi container Caraka ketinggian 3 – 4.5 meter (12 knot)	90

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Indonesia adalah Negara beriklim tropis yang hanya memiliki dua musim, yaitu kemarau dan hujan. Kondisi iklim ini menyebabkan intensitas rantai makanan dalam ekosistem laut semakin tinggi, sehingga menyebabkan kemungkinan pertumbuhan organisme laut (*marine fouling*) dapat tumbuh semakin cepat. Tumbuhnya *marine fouling* pada permukaan bangunan ini dapat menimbulkan berbagai masalah, seperti korosi eksternal yang terjadi akibat factor lingkungan terutama pada permukaan bangunan yang berada pada wilayah *splash zone*, koefisien drag lebih tinggi, luas proyeksi bagian-bagian struktur, berat struktur dan volume yang dipindahkan bertambah,ng, retak las menjadi tidak nampak, markah kedalaman menjadi tidak jelas, serta menghambat pemasukan air pada lubang hisap (Anonim,1952).

Keberadaan biota penempel (*marine fouling*) pada kapal dan berbagai konstruksi buatan manusia di laut dapat menimbulkan masalah baik secara ekonomis, operasional yaitu adanya biota penempel pada lambung kapal yang telah berlayar 6-8 bulan dapat menyebabkan kecepatan kapal berkurang sampai 50% sehingga konsumsi bahan bakar meningkat sampai dengan 40%. Berkurangnya kecepatan kapal mengakibatkan tertundanya waktu berlayar selama 10-15% dari total waktu berlayar. Keberadaan biota penempel pada dasar atau lambung kapal juga mempercepat kerusakan mesin dan hilangnya waktu sekitar satu bulan setiap tahun untuk *docking* kering (Maley, 1947; dalam Puspitasari, 199)

Marine fouling mempunyai dampak yang cukup signifikan terutama terhadap kecepatan kapal, yaitu dapat mengurangi kecepatan kapal karena besarnya hambatan tambahan yang ditimbulkan. Hal ini tentunya juga dapat meningkatkan konsumsi bahan bakar dan tegangan pada mesin. Pada tahun 1981, Angkatan Laut Amerika Serikat menghabiskan 18 juta barel bahan bakar tambahan, dimana 3,3 juta barel diakibatkan oleh *marine fouling*. *Marine fouling* dengan ketebalan 1 mm dapat meningkatkan hambatan pada lambung kapal sebesar 80% (Crips, 1972).

Dengan memahami betapa luasnya dampak dari organisme *marine fouling* pada badan kapal berbagai metode sebagai upaya penanggulangan untuk mencegah dan menghilangkan *biofouling* terus dikembangkan. Dalam rangka memperkecil dampak pencemar (*foulers*),

banyak struktur di dalam air dilindungi dengan *antifouling* mantel. Salah satu metode yang banyak digunakan oleh kalangan luas adalah aplikasi cat pelindung *antifoulant* komersial yang komponen utamanya adalah logam berat seperti, TBT (tri-n-butyl tin). Sayangnya, belakangan ini banyak penelitian telah membuktikan bahwa senyawa TBT tidak hanya toksik terhadap biota penempel tetapi juga membahayakan berbagai organisme non-target lainnya. Oleh karenanya, untuk mencegah terjadinya gangguan atau kerusakan yang lebih besar terhadap lingkungan hidup di laut, beberapa negara maju telah melarang penggunaan cat yang mengandung senyawa TBT ini untuk kapal dan instalasi marikultur (Luthfi, 2015)

Terbatasnya system perlindungan yang ada, maka perlu usaha-usaha untuk mencari system perlindungan yang lain yang lebih efektif dan ekonomis untuk meningkatkan operasional sebuah kapal. Usaha-usaha ini dapat kita lakukan jika kita memiliki informasi yang cukup mengenai interaksi organisme *marine fouling* dengan lingkungannya, yaitu dengan meminimalisir pertumbuhan *marine fouling*. Laju pertumbuhan *marine fouling* dipengaruhi oleh berbagai hal, antara lain: lokasi geografis, kedalaman air, suhu dan musim, arus air, kejernihan air, bentuk struktur platform dibawah air dan pengoperasian kapal. Dari beberapa penyebab proses pertumbuhan *marine fouling* terdapat salah ini tentunya dapat menjadi sarana mobilitas/pergerakan pada komponen-komponen *marine fouling*, seperti polysakarida, protein, lipid dan asam nukleat.

Persoalan yang ingin dibahas pada penelitian ini adalah menganalisa aliran disekitar badan kapal yang tercelup air akibat kecepatan dan tekanan arus air yang terjadi pada perairan yang sesungguhnya dengan pemodelan *software* untuk digunakan sebagai pendeteksi pertumbuhan *marine fouling*, khususnya yang terjadi diperairan Indonesia. Dengan didapatkannya hubungan antar kecepatan arus dan laju pertumbuhan *marine fouling* maka dapat diketahui besar laju pertumbuhan *marine fouling* selama kapal satu tahun beroperasi, karena waktu satu tahun merupakan waktu yang sesuai untuk inspeksi dan waktu perawatan yang harus dilakukan pada struktur bangunan kapal.

1.2 Perumusan Masalah

Dari latar belakang diatas, dapat diperoleh perumusan masalah dari tugas akhir yang diusulkan sebagai berikut:

- Apa parameter yang mempengaruhi laju pertumbuhan dan persebaran *marine fouling* berdasarkan teori lapisan batas dengan menggunakan program *CFD*?

1.3 Batasan Masalah

Penyusunan tugas akhir ini memerlukan batasan-batasan masalah yang berfungsi untuk mengefektifkan perhitungan dan proses penulisan. Batasan-batasan tersebut adalah sebagai berikut:

- a) Kecepatan arus pada pemodelan diasumsikan kecepatan aliran potensial yang mengalir dari depan kapal dengan variasi 2 kecepatan berbeda, yaitu 6 knot dan 12 knot.
- b) Aliran yang terjadi hanya ditinjau akibat pengaruh kecepatan arus disekitar model dan jenis aliran diamati dari besarnya *Reynolds Number*.
- c) Permukaan kapal diuji dengan variasi kekasaran yang berbeda-beda, yaitu: pada kapal tanpa kekasaran, kekasaran merata dan kekasaran tidak merata.
- d) Badan kapal yang uji terletak pada lambung kapal yang jauh dari permukaan garis air, yaitu pada ketinggian 1.5 – 3 meter dan 3 – 4.5 meter dari dasar kapal.
- e) Pada pemodelan tugas akhir ini dilakukan dengan menggunakan ansys CFX *full viscous*.
- f) Dalam penelitian ini besar turbulensi disamakan dengan variabel energi kinetik turbulen (yang merupakan variabel utama turbulensi) dan kecepatan aliran di samakan dengan kecepatan potensial aliran.

1.4 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah:

- Dapat mengetahui parameter yang mempengaruhi pertumbuhan *marine fouling* pada teori lapisan batas dengan menggunakan program *CFD*.

1.5 Manfaat

Dari tugas akhir ini, diharapkan dapat diambil manfaat sebagai berikut:

- Dalam konteks akademis (saintifik), diharapkan hasil pengerjaan Tugas Akhir ini dapat mengetahui pola pertumbuhan pada *marine fouling* dan faktor-faktor yang mempengaruhi ditinjau dari teori *boundary layer*.
- Dalam konteks praktis (aplikatif), diharapkan hasil dari Tugas Akhir ini dapat berguna sebagai referensi pengetahuan tentang bertambah besarnya nilai turbulensi dan tegangan geser aliran terhadap badan kapal pengaruh dari *marine fouling*.

1.6 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah kecepatan, tegangan geser permukaan dan turbulensi aliran arus merupakan beberapa dari parameter yang mempunyai pengaruh terhadap penurunan laju pertumbuhan dan persebaran *marine fouling*.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Pendahuluan

Dalam setiap pergerakan kapal, aliran fluida pada badan kapal akan mengalir sampai kebagian buritan kapal. Fluida yang mengalir disekitar badan kapal akan menimbulkan tekanan yang terdistribusi normal sepanjang badan kapal yang tercelup fluida. Pada bagian depan dari lambung kapal ada komponen dari tekanan ini yang menghambat gerakan kapal, dan pada bagian buritan komponen ini justru menjadi pendukung pergerakan kapal.

Sifat kerapatan dan sifat viskositas memegang peranan penting dalam hal aliran di dalam saluran terbuka maupun saluran tertutup. Fluida merupakan zat yang mengalami perubahan bentuk secara terus menerus bila mengalami tegangan geser, dimana tegangan geser permukaan merupakan pembagian besarnya komponen gaya yang menyinggung permukaan terhadap luas permukaannya. Viskositas merupakan sifat fluida yang memberikan dasar tahanan terhadap tegangan geser oleh fluida tersebut.

Pada suatu aliran *viscous* yang melewati suatu benda tertentu, seperti pelat datar maka sedikit diatas permukaan itu akan terbentuk suatu lapisan yang disebut lapisan batas. Lapisan batas terbagi menjadi laminar, turbulen dan transisional. Dimana faktor yang menjadikannya adalah gradien tekanan, kekasaran permukaan, perpindahan panas, *body forces* dan gangguan pada aliran bebas. Penjelasan lebih lanjut akan dibahas dalam bahasan selanjutnya mengenai teori aliran fluida dan lapisan batas.

2.2 Teori Mengenai Aliran Fluida

2.2.1 Aliran *Viscous* dan *Non Viscous*

Pada dasarnya aliran terbagi atas dua jenis yaitu aliran *viscous* dan aliran *non viscous*. Aliran *non viscous* merupakan aliran yang mempunyai gradien kecepatan dan tegangan geser yang mendekati nol. Sedangkan aliran *viscous* adalah merupakan aliran yang mempunyai gradien dan tegangan geser (mempunyai nilai yang lebih besar dari pada *non viscous*).

Pada aliran fluida ideal, semua partikel akan bergerak pada kecepatan yang sama, tetapi pada aliran *viscous* yang mempunyai tegangan geser akan menjadikan profil kecepatannya menjadi tidak seragam. Sebagaimana gambar di bawah ini.



Gambar 2. 1 Perbedaan (a) Fluida Ideal, (b) Fluida Viscous
(yulistiyanto : 2012)

Menurut Yulistiyanto (2012) pada aliran *viscous*, kecepatan fluida yang tepat diatas permukaan padat sama dengan nol. Dan semakin jauh dari permukaan padat, secara berangsur-angsur tegangan geser yang terjadi semakin berkurang, sehingga berangsur-angsur pula kecepatan aliran potensial akan membesar. Dan pada suatu titik tertentu pengaruh tegangan geser terhadap aliran akan hilang sehingga kecepatan aliran potensial akan mencapai harga yang sama dengan aliran bebasnya.

2.2.2 Fenomena Aliran yang Terkait dengan Bentuk Lambung Kapal (Aliran Laminer – Transisi – Turbulen – Separasi dan Kekasaran)

Hal yang paling berpengaruh terhadap bagaimana aliran yang terjadi pada lambung adalah bentuk dari lambung kapal itu sendiri. Dalam hal ini fenomena yang terjadi adalah *skin friction* yang nantinya akan menghasilkan bentuk aliran yang bersifat laminer atau turbulen. *Skin friction* memiliki nilai yang proporsional dengan besar luasan basah. *Skin friction drag* pada sebuah plat tipis sejajar dengan aliran fluida dapat berupa aliran laminer, turbulen atau campuran antara keduanya.

Aliran laminer terdiri atas satu lapisan fluida yang bergeser secara halus dari aliran sekitarnya dengan kecepatan yang berbeda. Kecepatan berubah dari nol pada permukaan, semakin membesar kearah menjauhi permukaan dan akhirnya seragam pada aliran bebas yang tidak terpengaruh oleh permukaan. Lapisan laminer ini memiliki gesekan yang kecil dan *noise* yang rendah. Kondisi ini terjadi pada kecepatan aliran potensial yang rendah dan sangat jarang di temui pada kecepatan aliran potensial yang tinggi.

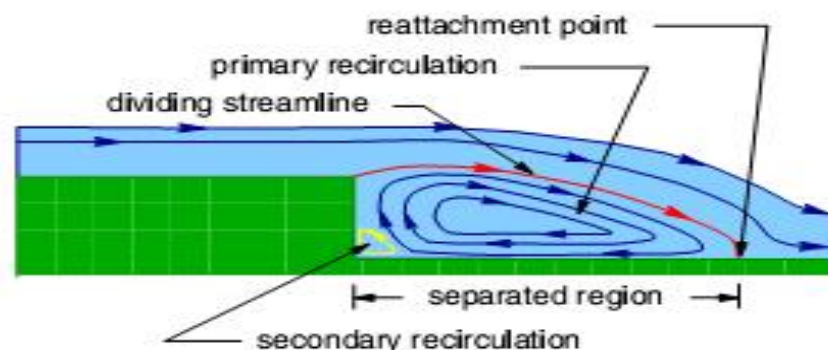
Dalam penjelasan Sadjadi (2003) lapisan batas diartikan sebagai daerah fluida yang dekat dengan benda padat. Di dalam daerah ini, gradien lintang (*tranverse gradient*) kecepatannya sangat besar dibandingkan dengan variasi longitudinalnya. Artinya, pada kondisi ini tegangan geser pengaruhnya sangat besar. Tebal lapisan batas adalah jarak

tegak lurus permukaan benda ke titik dimana pada titik tersebut kecepatan aliran potensial mencapai harga yang sama dengan kecepatan aliran potensial tanpa viskositas yang ekuivalen.

Untuk menguji apakah suatu aliran laminar atau turbulen, biasanya digunakan formulasinya yang dikenal dengan *reynold number*. *Reynold number* dirumuskan sebagai sebuah rasio dari hasil perkalian antara kecepatan dan panjang benda (kapal) dibagi dengan viskositas fluida yang dilaluinya. Pada nilai *reynold number* yang tinggi, lapisan fluida yang bergeser pada lapisan batas laminar bergulung-bergulung dan berputar dalam gumpalan-gumpalan. Pada kondisi ini noise dan *skin friction* menjadi semakin besar. Daerah pada lapisan ini di kenal dengan lapisan batas turbulen. Sedangkan area perubahan dari laminar ke turbulen di sebut daerah transisi.

Menurut Sardjadi (2003) pada sebuah benda di mana tekanan bervariasi mengikuti bentuk benda tersebut, daerah turunya tekanan pada arah aliran, semakin membesar sepanjang aliran laminar dalam lapisan batas. Sedangkan, didaerah naiknya tekanan pada arah aliran tersebut, aliran laminar yang terjadi menjadi sulit dikendalikan. Kekasaran dan kontur dari permukaan juga turut mempengaruhi aliran laminar yang terjadi, dimana kedua faktor tersebut dapat memperbesar turbulensi.

Jika pada daerah naiknya tekanan terjadi kenaikan tekanan yang semakin besar, kemudian aliran semakin melambat pada lapisan batas, kemungkinan aliran akan berhenti dan terjadi aliran balik. Hal ini akan menyebabkan terjadinya separasi, yaitu fenomena pisahnya aliran utama dari permukaan benda pejal yang disebabkan adanya gradien tekanan longitudinal yang melawan, kadang-kadang disebabkan karena adanya perubahan mendadak pada arah kurvatur permukaan. Fluida didalam aliran yang terpisahkan berisi ulakan, dan mungkin mendekati statis atau berisi daerah aliran yang berlawanan.

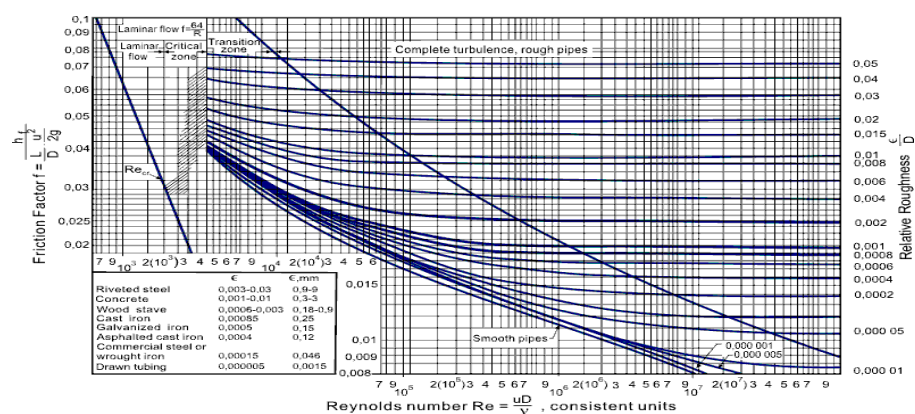


Gambar 2. 2 Aliran Sparasi dibelakang Benda
(Mc Donough : 2009)

Pada daerah sparasi yang luas maka gerakannya lambat, ukuran *eddy* akan terbentuk, dan drag benda akan meningkat drastis.

Pada lambung kapal terdapat fenomena lapisan batas yang berkembang sepanjang lambung yang tercelup dalam air. Aliran laminar terjadi pada bagian *nose* dan kemudian berubah menjadi turbulen pada aliran sesudahnya. Kenaikan kecepatan pada lapisan batas dari nol permukaan hingga nilai tertentu pada arus bebas, memiliki jarak yang relatif dari permukaan. Jika lapisan batas laminar terbentuk pada lambung kapal dengan bentuk *nose* yang tumpul, kemungkinan akan timbul gelembung-gelembung separasi. Transisi dari gelembung-gelembung separasi. Transisi dari dari gelembung tersebut akan diikuti oleh turbulensi tambahan yang sangat berisik dan harus dihindari.

Faktor lain yang juga berpengaruh pada *skin friction* adalah kekasaran permukaan (*roughness*). Grafik berikut menunjukkan semua lapisan batas laminar yang hanya terjadi pada *reynold number* yang rendah, dan lapisan batas turbulen terjadi pada *reynold number* diatas 10^9 .



Gambar 2. 3 Grafik Variasi *Friction Drag* (Moody : 1944)

Perbedaan tingkat kekasaran ini menyebabkan naiknya *skin friction* diatas lapisan batas turbulen pada permukaan licin. Kekasaran pada permukaan badan kapal dapat di sebabkan oleh beberapa hal, yaitu: kekasaran struktur, kontur permukaan, pengelasan, perubahan *section*, kerusakan lokal, lubang-lubang yang terjadi karena korosi, pelepuhan cat kasar dan yang utama disebabkan oleh adanya *fouling*.

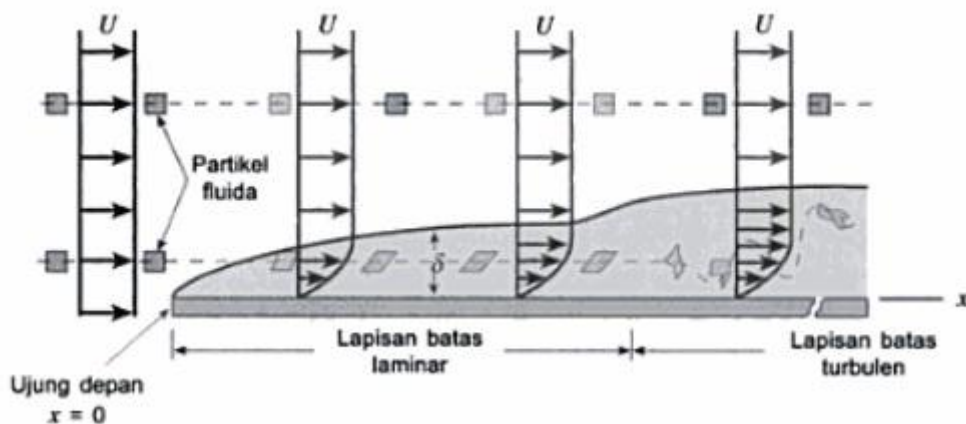
2.3 Teori Lapisan Batas

Suatu aliran disebut sebagai aliran eksternal bila aliran tersebut melewati suatu *countur boundary* yang berada pada aliran fluida tanpa batas. Contoh aliran eksternal adalah aliran

fluida yang melewati sisi luar dari permukaan lengkung dan pelat datar. Pada saat aliran fluida nyata dari *free stream* menuju suatu *body*, fluida akan mengalami perubahan kecepatan dari keadaan *uniform* (U_{∞}) ke kondisi aliran yang mempunyai distribusi kecepatan (*velocity distribution*). Hal ini terjadi karena pengaruh dari viskositas fluida dan *countur body* yang dilewatinya.

Distribusi kecepatan diawali dari suatu titik yang kecepatannya nol (*zero velocity*), yaitu tepat pada permukaan *body* yang dilewati aliran. Dimana vektor kecepatan menyinggung *stream line* secara tegak lurus terhadap arah normal dan besarnya kecepatan semakin bertambah bila titik pengamatan semakin menjauhi *countur (wall)* hingga mencapai harga kecepatan pada *free stream* bila aliran sudah tidak terpengaruh oleh dinding. Kondisi transisi terjadi bila kecepatan fluida berubah dari kecepatan yang tidak sama dengan kecepatan *free stream* menjadi sama. Hal ini terjadi pada suatu lapisan tipis yang mendekati dinding yang oleh L. Prandtl (1904) lapisan ini disebut *boundary layer*. Distribusi kecepatan tersebut akan terjadi selama fluida melewati *countur body* dengan ketebalan *boundary layer* yang semakin bertambah dari *leading edge* menuju kebelang.

Struktur *boundary layer* dapat digambarkan dengan mengamati gerakan partikel fluida. Pada saat mengalir diluar *boundary layer*, partikel mempertahankan bentuk asalnya sambil bergerak translasi, namun tidak berotasi dan efek *viscosity* dapat diabaikan. Gangguan mulai terjadi saat partikel memasuki *boundary layer*, karena adanya *velocity gradient* dan efek *viscosity*. Akibatnya, selama bergerak translasi, partikel fluida juga bergerak rotasi. Dengan demikian *vorticity* nya tidak sama dengan nol (*non zero vorticity*). Kondisi ini disebut *rotational*.



Gambar 2. 4 *Boundary Layer* pada Pelat Datar
(Sardjadi : 2003)

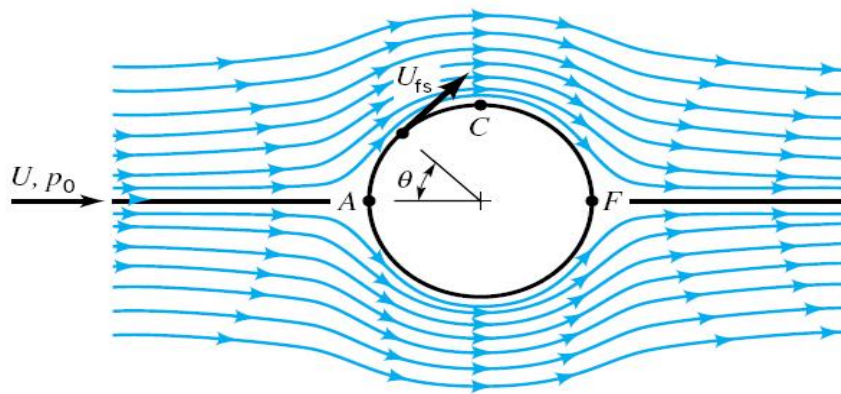
Gambar 2.4(diatas menunjukkan suatu pengembangan *boundary layer* sepanjang permukaan pelat. Pada daerah ini terjadi dua bentuk aliran. Awalnya adalah laminar (sepanjang jarak tertentu dari *leading edge*), kemudian terjadi suatu transisi aliran yang akhirnya berubah menjadi turbulen. Untuk aliran *incompressible* melewati *smooth flat plate*, perubahan dari laminar menuju *turbulent* dipengaruhi oleh *reynold number*.

2.4 Separasi Aliran

Setiap aliran fluida terutama aliran *viscous*, apabila menemui suatu gangguan berupa benda atau *solid surface*, alirannya akan mengalami separasi karena *vorticity* yang terjadi besar sehingga energi yang ada atau momentum yang ada tidak bisa mengatasi *adverse pressure gradient* dan efek friksi yang terjadi pada *solid surface* tersebut. Separasi aliran fluida dua dimensi membawa kerugian pada aliran laminar atau aliran yang dalam kondisi paralel. Aliran laminar dua dimensi tersebut akan dirusak oleh friksi dan adanya *adverse pressure gradient* pada permukaan solid. Separasi ini dimulai pada titik dimana perubahan kecepatan ke arah y sama dengan nol. *Vorticity* yang terjadi pada titik ini sangat besar, sehingga momentum yang ada mulai dirusak oleh *vorticity* yang mengakibatkan terbentuknya *vortex* pada daerah dibelakang separasi.

Ada dua daerah yang ada pada sekitar separasi, yaitu daerah laminar yang terseparasi dan daerah resirkulasi. Daerah separasi tersebut semakin kebelakang akan semakin semakin besar hingga sampai pada suatu titik dimana alirannya sudah kembali seperti semula, hal ini dikenal dengan *reattachment*. Pada titik ini energi yang terdapat dalam aliran fluida ini mampu mengatasi *adverse pressure gradient* yang terjadi sebelumnya atau dengan kata lain energi yang momentumnya sudah mendapatkan tambahan kembali dari kondisi *free stream*-nya. Namun aliran ini berubah menjadi aliran yang turbulen karena penambahan momentum yang ada tersebut melebihi dari kondisi laminernya. Aliran yang turbulen ini baik sekali untuk mengatasi *adverse pressure gradient* (Yulistiyanto, 2012).

Pada aliran fluida yang melintasi suatu permukaan berbentuk kurva (melengkung) maka distribusi tekanan dan distribusi kecepatan akan mengalami perubahan. Pada sebuah sirkular silinder yang dilalui oleh aliran fluida dalam sebuah medan aliran *incompressible* diasumsikan sebagai aliran *inviscid* sehingga aliran tampak simetris baik ke arah y maupun ke arah x . Sebagaimana gambar di bawah ini.



Gambar 2. 5 Aliran pada Lintasan Berbentu Silinder
(Yulistiyanto : 2012)

Pada gambar diatas Yulistiyanto (2012) menjelaskan bahwa kecepatan aliran potensial yang mengelilingi silinder akan meningkat sampai titik maksimal C yang kemudian berkurang saat bergerak lebih jauh kebelakang dari titik C. Pada aliran inviscid peningkatan distribusi kecepatan dihubungkan oleh pengurangan distribusi tekanan pada aliran yang melintasi profil silinder tersebut. Sehingga pada suatu aliran *incompressible inviscid flow* yang melintasi silinder, distribusi tekanan sepanjang permukaan silinder berkurang dari A-C dan akan meningkat lagi dari C-F.

2.5 Profil Kecepatan Lapisan Batas

Pola aliran, distribusi kecepatan dan distribusi tegangan geser pada daerah dalam mempunyai pengaruh yang cukup signifikan terhadap proses penempelan organisme *marine fouling*. Untuk mendapatkan profil kecepatan pada daerah *inner region*, pertama kita akan menganalisa persamaan momentum dengan klasifikasi sebagai berikut:

- aliran dua dimensi
- *incompressible* (aliran tak termampatkan atau massa jenis konstan)
- aliran *turbulent*
- pelat datar (*zero pressure gradient*)

Persamaan tersebut dapat ditulis sebagai berikut:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau}{\partial y} \quad (2.1)$$

Keterangan :

- τ = tegangan geser total

- τ_1 = tegangan geser laminar ∂^2
- τ_2 = tegangan geser *turbulent*

Pada benda dengan permukaan halus, nilai u dan v pada permukaan *wall* sama dengan nol. Selanjutnya dengan menggunakan persamaan kontinuitas dan kondisi tanpa slip ($u_\infty = v_\infty = 0$) serta mengintegrasikan persamaan (2.1) terhadap y maka akan terbukti bahwa ($\frac{\partial^2 \tau}{\partial y^2}$) sama dengan nol.

Persamaan kontinuitas dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (2.2)$$

Jadi:

$$\frac{\partial u}{\partial x} = - \frac{\partial v}{\partial y} \quad (2.3)$$

Turunan persamaan (2.1) terhadap y akan menghasilkan :

$$\left(\frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial u}{\partial x} - u \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} \right) + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \frac{\partial u}{\partial y} - v \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) = \frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 \tau}{\partial y^2} \quad (2.4)$$

Pada persamaan (2.4) diatas, suku $u \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y}$ serta suku $v \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$ dapat diabaikan karena bernilai sangat kecil. Sehingga dengan mensubstitusikan persamaan (2.3) kedalam persamaan (2.4) maka akan didapatkan:

$$\frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 \tau}{\partial y^2} = 0$$

Jadi

$$\left\{ \frac{\partial^2 \tau}{\partial y^2} \right\} = 0 \quad (2.5)$$

Hal ini menunjukkan bahwa pada suatu jarak y yang kecil dari permukaan *wall* (dinding), maka :

$$\frac{\partial^2 \tau}{\partial y^2} \approx 0 \quad (2.6)$$

Dari persamaan (2.6) dapat ditarik kesimpulan bahwa tegangan geser total (τ_T) pada daerah dekat permukaan adalah konstan ($\tau_T = \tau_l + \tau_t = \text{konstan}$).

Konstannya nilai tegangan geser total pada persamaan diatas dikarenakan pada daerah tersebut terdapat hubungan kesetimbangan antara tegangan geser laminar dan tegangan geser turbulen. Kesetimbangan ini terjadi pada daerah inner region (y/δ bernilai 0 hingga 0.2), dimana pada daerah dalam ini terdapat dua jenis kesetimbangan. Pada daerah yang sangat dekat dengan dinding ($y/\delta \approx 0$ hingga 0.1) terjadi kesetimbangan terbalik, yaitu apabila tegangan geser laminar membesar maka tegangan geser turbulen mengecil dan sebaliknya. Pada daerah yang agak jauh dari *wall* ($y \approx 0.2$) maka terjadi kesetimbangan konstan. Kesetimbangan ini terjadi dikarenakan pada daerah tersebut tegangan turbulen konstan maksimum sedangkan tegangan geser laminar konstan minimum.

Besar nilai tegangan geser total dapat diketahui dengan melakukan analisa terhadap suatu daerah yang dekat dengan permukaan *wall* dimana $\tau_l \approx 0$. Pada daerah ini tegangan geser laminar (tanpa dimensi) tampak sebagai berikut:

$$\frac{2\tau_l}{\rho u_e^2} = \frac{2\tau_w}{\rho u_e^2} = \frac{2v}{u_e^2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_w = c_f \quad (2.7)$$

Sehingga pada daerah *wall* ($y=0$) akan diperoleh bentuk sebagai berikut :

$$\tau_{\text{total}} = \tau_l = \tau_t = \rho u_\tau^2 \quad (2.8)$$

Dengan mengkombinasikan permasamaan diatas terhadap Prandtl's mixing theory, maka distribusi kecepatan pada daerah *inner* dapat ditentukan sebagai berikut :

$$a(y^+) \left(\frac{du^+}{dy^+} \right)^2 + b \left(\frac{du^+}{dy^+} \right) - 1 = 0 \quad (2.9)$$

Keterangan:

- $y^+ = y u_\tau / \nu$
- $u^+ = u / u_\tau$
- $A^+ = 26$
- $A(y^+) = (\chi y^+) (1 - \exp(-y^+ / A^+))$
- $b = 1$

- u_t = kecepatan geser
- $\chi = 0.041$

persamaan (2.9) diatas berupa persamaan kuadrat biasa, sehingga kita dapat menentukan persamaan dari du^+/dy^+ :

$$\frac{du^+}{dy^+} = \frac{-b + (b^2 + 4a)^{1/2}}{2a} = \frac{2}{b + \sqrt{b^2 + 4a}} \quad (2.11)$$

$$u^+ = \frac{u}{u_\tau} = \int_0^{y^+} \frac{2}{b + \sqrt{b^2 + 4a}} dy^+ \quad (2.12)$$

dimana $u^+ = 0$ pada $y^+ = 0$.

Karena persamaan (2.12) diterapkan pada daerah dalam, maka $y^+ < 500$ (Cebeci et. All,1974).

Persamaan (2.12) merupakan persamaan distribusi kecepatan rata-rata pada daerah dalam (*inner region*) untuk pelat datar. Sedangkan, pada aliran dengan *pressure gradient*, maka nilai A dari persamaan (2.12) dimodifikasi menjadi:

$$A = A^+ \cdot \nu (\tau_w / \rho)^{1/2} \quad (2.13)$$

Keterangan :

- $A^+ = \text{konstanta} = 26$
- $\nu = \text{viskositas kinematis fluida}$
- $\tau_w = \text{tegangan gesek permukaan}$
- $\rho = \text{masa jenis fluida}$

Untuk menerapkan persamaan (2.13) pada aliran dengan *pressure gradient*, maka kita harus memodifikasi ekspresi dari A pada persamaan (2.13). Proses ini dilakukan oleh ilmuwan Cebecchi (*analysis of turbulent boundary layer*), dengan hasil sebagai berikut:

$$A = A^+ \frac{\nu}{N} \left[\frac{\tau_w}{\rho} \right]^{-1/2} \quad (2.14)$$

Keterangan :

- $N = (1 - 11.8 (P^+))^{1/2}$
- $P^+ = \frac{\nu u_e}{u_\tau^3} \left[\frac{du_e}{dx} \right]$

Dengan mensubstitusikan nilai N pada persamaan (2.14) maka akan diperoleh persamaan distribusi kecepatan rata-rata pada daerah dalam (*inner region*) untuk kasus aliran dengan *pressure gradient*.

Dari proses penurunan persamaan kecepatan lapisan batas di atas, nampak bahwa terdapat dua faktor utama yang mempengaruhi kecepatan lapisan batas. Kedua faktor tersebut meliputi kekentalan fluida serta profil benda. Faktor kekentalan fluida (viskositas) akan menimbulkan efek peredaman (perlambatan) pada aliran fluida. Faktor profil benda akan menimbulkan dampak peredaman aliran pada kondisi *positive pressure gradient* (peningkatan gradien). Sedangkan pada kondisi *negative pressure gradient* (penurunan tekanan) akan menimbulkan dampak percepatan aliran fluida.

2.6 Profil Tegangan Geser Permukaan

Profil tegangan geser pada lapisan batas (termasuk tegangan geser permukaan) secara matematis ditentukan setelah profil kecepatan lapisan batas diketahui. Hal ini terlihat pada persamaan berikut (D. Coles, 1956):

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (2.15)$$

dan

$$\tau_w = \left. \mu \frac{du}{dy} \right|_w \quad (2.16)$$

Keterangan :

- τ = tegangan geser
- τ_w = tegangan geser permukaan (*wall*)
- u = kecepatan aliran potensial lapisan batas searah sumbu x
- μ = viskositas dinamis

Dari pernyataan diatas, dapat disimpulkan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi profil kecepatan aliran potensial, secara langsung juga akan mempengaruhi profil tegangan geser demikian juga sebaliknya. Untuk selanjutnya, jika suatu faktor disebut dapat mempengaruhi profil kecepatan maka secara langsung faktor tersebut juga dapat mempengaruhi profil tegangan geser. Walaupun profil tegangan geser ditentukan dari profil kecepatan aliran potensial, namun untuk profil tegangan geser permukaan dapat ditentukan

tanpa harus mengetahui profil kecepatan aliran potensial terlebih dahulu, yaitu dengan menggunakan persamaan dibawah ini (Diktat STDU):

$$\tau_w = C_f \cdot u_e^2 \cdot \nu / 2 \quad (2.17)$$

Keterangan :

- C_f = koefisien gesek lokal
- U_e = kecepatan aliran potensial
- P = massa jenis fluida
- ν = viskositas kinematis

Penentuan tegangan geser permukaan secara independent ini dimungkinkan karena variabel-variabel yang ada didalamnya (C_f dan U_e), dapat ditentukan baik berdasarkan percobaan-percobaan yang telah dilakukan maupun berdasarkan teori potensial. Dari penjelasan diatas, dapat disimpulkan bahwa tegangan geser permukaan juga dipengaruhi oleh kekentalan fluida dan profil benda (*pressure gradient*).

Pada kasus *zero pressure gradient* (tekanan konstan), faktor kekentalan fluida menjadi dominan. Sepanjang pergerakannya, molekul-molekul fluida akan diredam oleh gaya kohesi dan adesi. Adapun untuk proses peredaman ini mengakibatkan nilai du/dy menjadi menurun. Dengan demikian pada saat aliran fluida melambat, maka tegangan geser permukaan juga mengalami penurunan.

Pada kasus *negative pressure gradient* (penurunan tekanan), aliran fluida akan mengalami percepatan. Pada kondisi ini faktor kekentalan fluida dapat diabaikan. Akibat dari proses percepatan ini, maka nilai du/dy akan semakin besar. Dengan demikian harga tegangan geser permukaan juga meningkat. Dari penjelasan diatas, dapat disimpulkan bahwa pada saat aliran fluida dipercepat, maka tegangan geser permukaan juga akan meningkat.

Pada kasus *positive pressure gradient* (peningkatan tekanan), aliran fluida akan diredam (diperlambat). Perlambatan tidak hanya disebabkan oleh peningkatan tekanan namun juga oleh faktor kekentalan fluida. Akibat proses peredaman ini, maka nilai du/dy akan menurun. Kondisi ini mengakibatkan penurunan nilai tegangan geser. Dengan demikian, pada saat kecepatan aliran potensial fluida menurun, tegangan geser permukaan juga mengalami penurunan.

2.7 Profil Turbulensi Lapisan Batas

Intensitas turbulensi dapat diekspresikan dengan beberapa cara. Semua parameter-parameter aliran turbulensi pada dasarnya dapat dipakai untuk mengamati intensitas turbulensi. Semakin tinggi parameter tersebut, maka intensitas turbulensi juga akan meningkat.

Dalam tugas akhir ini, parameter yang digunakan untuk mengekspresikan intensitas turbulensi adalah tegangan geser turbulensi. Pada daerah dalam, tegangan geser total lapisan batas selalu konstan (Diktat STDU).

$$\tau_l + \tau_t = \text{konstan} \quad (2.18)$$

keterangan:

- τ_l = tegangan geser laminar ($\mu \frac{du}{dy}$)
- K = tegangan geser *turbulent* ($\mu \left. \frac{du}{dy} \right|_w - \nu \overline{u'v'}$)
- u' = fluktuasi kecepatan searah sumbu x
- v' = fluktuasi kecepatan searah sumbu y

Pada persamaan (2.19) diatas, harga konstanta sama dengan tegangan geser permukaan ($C_f \cdot u_e^2 \cdot \nu / 2$). Harga tegangan geser permukaan ini dapat diperoleh karena variabel-variabelnya telah diketahui baik melalui percobaan-percobaan yang telah dilakukan dilaboratorium (C_f) atau dari teori potensial (U_e). Tegangan laminar pada persamaan (2.18) juga dapat ditentukan dengan cara menentukan terlebih dahulu profil kecepatan (Diktat STDU). Dengan diketahuinya profil kecepatan, maka harga du/dy dapat diketahui. Dari penjelasan diatas nampak bahwa nilai profil turbulen secara tidak langsung dapat dihitung.

Aliran turbulen adalah suatu jenis aliran yang tidak beraturan (*irreguler*). Pada aliran *turbulent* sebagai karakteristik aliran menunjukkan perilaku yang acak baik terhadap waktu maupun koordinat ruang, sehingga karakteristik-karakteristik tersebut harus ditentukan secara statistik. Ketika aliran fluida mulai terpengaruh oleh kekenatalan dalam lapisan batas, maka pada saat itu gangguan-gangguan terhadap aliran utama (*main stream*) mulai timbul. Gangguan-gangguan tersebut berupa gelombang-gelombang aliran diskrit brintensitas kecil yang berinteraksi dengan lairan utama. Jika aliran utama memiliki kestabilan yang tinggi, maka gangguan tersebut akan mampu diredam dan akan hilang seiring dengan berjalannya waktu. Sebaliknya, jika aliran utama tidak memiliki kestabilan, maka gangguan-gangguan

yang semula berintensitas kecil akan semakin besar. Peningkatan intensitas gangguan ini akan menimbulkan aliran-aliran khas *turbulent* yaitu pencampuran (*mixing*) dan pusaran-pusaran (*edying*).

Stabilitas fluida adalah suatu kondisi dimana fluida memiliki kemampuan untuk meredam gangguan-gangguan yang timbul sehingga tercipta aliran bentuk baru. Suatu fluida yang stabil bukan berarti tidak memiliki gangguan, namun gangguan yang timbul mampu diredam sehingga tidak bertambah besar. Sebaliknya, ketidakstabilan fluida merupakan kondisi dimana gangguan-gangguan fluida yang timbul tidak lagi dapat diredam, sehingga gangguan-gangguan tersebut mampu menciptakan jenis aliran baru.

Seperti halnya tegangan geser permukaan, terdapat dua faktor utama yang mempengaruhi kestabilan aliran fluida. Kedua faktor tersebut adalah kekentalan (viskositas) serta profil benda yang ditampilkan dalam bentuk *pressure gradient*. Kedua faktor diatas dipadukan dalam bentuk parameter-parameter tanpa dimensi yang disebut angka Reynold (R_n). Secara teoritis, angka Reynold (R_n) merupakan perbandingan antara gaya inersia dengan gaya *viscous* yang bekerja pada suatu partikel fluida. Gaya inersia mengakibatkan bertambahnya peluang timbulnya gangguan terhadap aliran utama, sedangkan gaya viskos berfungsi untuk meredam terjadinya gangguan.

Perbandingan antara gaya inersia maksimum terhadap gaya *viscous* maksimum disebut dengan angka Reynold kritis ($R_{n_{critis}}$). Jika nilai R_n masih dibawah angka kritisnya, maka aliran tersebut akan stabil. Sebaliknya, jika angka Reynold melebihi harga kritisnya, maka aliran akan menjadi tidak stabil. Besarnya nilai gaya inersia sebanding dengan dengan kuadrat kecepatan, sedangkan gaya *viscous* hanya berbanding linier. Berdasarkan kondisi ini, dapat dipahami jika perubahan kecepatan aliran potensial dalam lapisan batas akan lebih berpengaruh terhadap gaya inersia dibanding dengan gaya *viscous*.

Pada tugas akhir ini sebagian besar perhitungan dan pengamatan dilakukan pada daerah yang sangat dekat dengan permukaan badan kapal ($y = 56 \cdot 10^{-6}$ m). Pada daerah ini aliran fluida berupa aliran laminar. Selama proses perhitungan dan pemodelan, bentuk aliran tetap berupa aliran laminar dan tidak mengalami perubahan sepanjang badan kapal. Karena pola aliran tidak mengalami perubahan, maka daerah perhitungan dan pengamatan merupakan daerah yang stabil. Dari sini dapat disimpulkan bahwa harga angka Reynold sepanjang daerah perhitungan dan pengamatan masih dibawah harga kritisnya, walaupun angka Reynold kritis tersebut tidak ditentukan secara khusus.

2.8 Teori Pertumbuhan Organisme *Marine fouling*

Pola pertumbuhan *marine fouling* pada kapal pada dasarnya dibagi dalam dua fase, yaitu fase penempelan dan fase pertumbuhan. Kedua fase diatas yang akan menentukan pola pertumbuhan *marine fouling* pada lambung kapal. Secara teknis, pola pertumbuhan dari tiap-tiap proses sangat sulit untuk diamati. Hal ini disebabkan oleh proses penempelan dan pertumbuhan berlangsung secara berulang-ulang dan saling tumpang tindih. Pada tugas akhir ini, pola pertumbuhan *marine fouling* diasumsikan dipengaruhi oleh kedua fase dengan presentase yang sama. Asumsi ini merupakan asumsi yang realistis, karena kedua proses diatas menuntut kondisi lingkungan yang sama dimana gangguan hidrodinamis harus minimal. Pada fase penempelan organisme *marine growth* pada suatu permukaan dipengaruhi oleh banyak faktor, sehingga sangat sulit untuk menentukan aturan pasti yang dapat digunakan untuk menentukan dimana suatu organisme akan menempel. Berdasarkan ketidakpastian ini ilmuwan mencoba menggunakan teori peluang fase penempelan *marine growth* pada permukaan dengan metode PASSIVE CONTACT, yaitu: $P = 1/f(K, \tau_w)$; dimana k fungsi turbulensi dan τ_w fungsi tegangan geser. Dalam metode ini semakin besar nilai P maka penempelan organisme *marine fouling* semakin besar (mullineaux, 1993).

Terdapat dua persyaratan utama yang harus dipenuhi agar insting penempelan *marine fouling* dapat berfungsi dengan baik. Pertama, gangguan lingkungan (tegangan geser dan turbulensi) rendah. Kedua, organisme *marine fouling* harus memiliki kemampuan bergerak yang baik. Persyaratan pertama akan menuntun insting organisme *marine fouling* untuk memilih daerah penempelan dengan gangguan minimum, dan persyaratan kedua berfungsi melayani insting untuk bergerak menempel (mullineaux, 1993). Berdasarkan informasi yang diperoleh insting organisme *marine fouling* akan melakukan skala prioritas terhadap daerah penempelan yang relatif tenang. Dari penjelasan diatas, dapat diprediksikan bahwa intensitas penempelan pada daerah yang memiliki intensitas hidrodinamik rendah akan mempunyai peluang penempelan yang lebih besar dibandingkan dengan daerah yang memiliki intensitas hidrodinamik yang tinggi.

Pada fase pertumbuhan *marine fouling*, terdapat tiga faktor utama yang mempengaruhi proses pertumbuhan. Ketiga proses tersebut meliputi suplai bahan makanan, mekanisme penyaringan makanan serta pencernaan makanan. Jika kondisi hidrodinamis mendukung ketiga proses diatas, maka pertumbuhan akan berlangsung dengan optimal. Distribusi bahan makanan beserta zat-zat kehidupan lainnya akan sulit berlangsung dikarenakan aliran turbulen. Pusaran-pusaran (*edyng*) dan *mixing* (pencampuran) akan menghambat distribusikan

bahan makan dan zat-zat lain ke segala arah. Factor selanjutnya yang mempengaruhi proses pertumbuhan adalah penyaringan bahan makanan. Jika proses penyaringan berlangsung secara efektif, maka akan semakin banyak bahan makanan yang diperoleh. Sebagian besar organisme *marine fouling* yang hidup menempel (statis) menggunakan metode penyaringan untuk mendapatkan makanannya. Alat penyaring ini berupa antenna-antena yang dilengkapi dengan bulu-bulu halus. Antenna ini selanjutnya disusun sedemikian rupa sehingga menyerupai kipas penyaring. Kipas ini selanjutnya akan menyaring bahan makan yang terlarut dalam air dan memasukkan kedalam mulut. Jika *marine fouling* menghentikan proses penyaringan, maka alat penyaring ini akan disimpan dalam cangkangnya (Pascual, 1992).

Kipas penyaring *marine fouling* memiliki dua mekanisme kerja yang berbeda. Kedua mekanisme tersebut meliputi penyaringan aktif dan pasif. Penyaringan aktif adalah proses dimana alat penyaring bergerak secara aktif (maju mundur) tegak lurus arus air. Mekanisme ini biasanya digunakan pada saat intensitas gangguan (kecepatan dan turbulensi) relative rendah. Sebaliknya, penyaringan pasif merupakan proses penyaringan dimana alat penyaring secara statis menyaring bahan makanan terlarut. Pada kondisi ini penyaring hanya menunggu arus yang datang. Metode ini biasanya digunakan pada saat intensitas gangguan relative tinggi. Jika tingkat gangguan hidrodinamis mencapai kondisi yang sangat tinggi, maka sebagian atau seluruh alat penyaring akan ditarik kedalam cangkang *marine fouling*. Pada kondisi ini proses penyaringan otomatis berhenti. Proses metabolisme organisme *marine fouling* sangat sulit diamati karena ukurannya yang sangat kecil. Namun demikian terdapat beberapa parameter yang dapat digunakan untuk mengetahui intensitas metabolisme *marine fouling*. Salah satu parameter tersebut adalah kecepatan detak jantung (Heartbreak Rate, HBR). Peningkatan aktifitas jantung menunjukkan peningkatan aliran darah yang menyalurkan zat-zat makan hasil pencernaan. Hasil pencernaan sekaligus juga menunjukkan peningkatan aktifitas pengangkutan zat-zat sisa ke alat pengeluaran (Pascual, 1992).

Pada penjelasan diatas menjelaskan karakteristik hidrodinamis tidak mendukung proses pertumbuhan *marine fouling*. Hal ini dapat disimpulkan bahwa pola kecenderungan kecepatan, tekanan dan tegangan geser permukaan dan turbulensi lapisan batas, kita dapat memprediksikan pola distribusi pertumbuhan *marine fouling*.

2.9 Computational Fluid Dynamic (CFD)

CFD adalah penghitungan yang mengkhususkan pada fluida. Mulai dari aliran fluida, *heat transfer* dan reaksi kimia yang terjadi pada fluida. Atas prinsip-prinsip dasar mekanika

fluida, konservasi energi, momentum, massa, serta species, penghitungan dengan *CFD* dapat dilakukan. Secara sederhana proses penghitungan yang dilakukan oleh aplikasi *CFD* adalah dengan kontrol-kontrol penghitungan yang telah dilakukan maka kontrol penghitungan tersebut akan melibatkan dengan memanfaatkan persamaan-persamaan yang terlibat. Persamaan-persamaan ini adalah persamaan yang membangkitkan dengan memasukkan parameter apa saja yang terlibat dalam domain. Misalnya ketika suatu model yang akan dianalisis melibatkan temperatur berarti model tersebut melibatkan persamaan energi atau konservasi dari energi tersebut. Inisialisasi awal dari persamaan adalah *boundary condition*. *Boundary condition* adalah kondisi di mana kontrol-kontrol perhitungan didefinisikan sebagai definisi awal yang akan dilibatkan ke kontrol-kontrol penghitungan yang berdekatan dengannya melalui persamaan-persamaan yang terlibat.

2.9.1 Persamaan Dasar Dinamika CFD

Pada dasarnya semua jenis CFD menggunakan persamaan dasar (*governing equality*) dinamika fluida yaitu persamaan kontinuitas, momentum dan energi. Persamaan-persamaan ini merupakan pernyataan matematis untuk tiga prinsip dasar fisika :

1. Hukum kekekalan massa (*the conservation of mass*)
2. Hukum kedua newton (*Newton's second law of motion*)
3. Hukum kekekalan energi

Untuk mendapatkan persamaan dasar gerak fluida, filosofi berikut selalu diikuti:

- a. Memilih prinsip fisika dasar dari hukum-hukum fisika (Hukum kekekalan massa, hukum kedua newton, hukum kekekalan energi)
- b. Menerapkan prinsip-prinsip fisika di dalam model aliran.

dari penerapan, diuraikan persamaan matematis yang meliputi prinsip-prinsip fisika dasar.

2.9.2 Teori Dinamika Fluida

Computational Fluid Dynamics merupakan ilmu sains dalam penentuan penyelesaian numerik dinamika fluida. CFD adalah pendekatan ketiga dalam studi pengembangan bidang dinamika fluida selain pendekatan teori dan eksperimen murni. Adapun beberapa keuntungan yang diperoleh dengan menggunakan CFD antara lain:

1. Meminimumkan waktu dan biaya dalam mendesain suatu produk, bila proses desain tersebut dilakukan dengan uji eksperimen dengan akurasi yang baik.

2. Memiliki kemampuan sistem studi yang dapat mengendalikan percobaan yang sulit atau tidak mungkin dilakukan melalui eksperimen.
3. Memiliki kemampuan untuk studi dibawah kondisi berbahaya pada saat atau sesudah melewati titik kritis (termasuk studi keselamatan dan skenario kecelakaan).
4. Keakuratannya akan selalu dikontrol dalam proses desain.

Aplikasi dari CFD untuk penyelesaian masalah aliran pada kapal telah mengalami kemajuan cukup pesat pada akhir-akhir ini. Bahkan pada saat ini teknik CFD merupakan bagian dari proses desain dalam diagram spiral perancangan. Dengan CFD memungkinkan untuk memprediksi fenomena aliran fluida yang jauh lebih kompleks dengan berbagai tingkat akurasi. Dalam desain kerjanya, problem yang ada perlu dideskripsikan kedalam *software* CFD dengan menggambarkan model yang akan dianalisa, sifat-sifat fluida yang ada disekitar model dan juga penentuan kondisi batasnya. Selanjutnya dalam *solver*, problem yang ada akan dihitung dengan pendekatan persamaan Navier Stokes. Dari hasil perhitungan kemudian didapatkan hasil output dari *running* program CFD.

Computational Fluid Dynamics CFD merupakan analisa sistem yang mencakup aliran fluida, perpindahan panas dan fenomena yang terkait, seperti reaksi kimia dengan menggunakan simulasi berbasis komputer (*numeric*). Teknik ini sangat berguna untuk dan dapat diaplikasikan pada bidang industri dan *non* industri. Code CFD terstruktur atas logaritma numerik, sehingga dapat digunakan untuk menyelesaikan problem pada suatu aliran fluida. *Code Computational Fluid Dynamics* disini terdiri atas tiga element utama:

a. Pre Processor (CFXBuild)

Pada tahap awal ini pemrograman ini terdiri dari input masalah aliran untuk CFD melalui *interface*, kemudian mengubahnya menjadi bentuk yang sesuai dengan format yang dikehendaki oleh bagian *solver*. Pada tahap ini perlu dilakukan input permasalahan sesuai dengan aturan *software*, meliputi:

- Membentuk geometri benda dan daerah sekeliling benda sebagai domain komputasi.
- Membentuk grid generation atau membagi domain yang telah ditentukan menjadi bagian yang lebih kecil (sub-domain).
- Penentuan fenomena fisika dan kimia dari model.
- Penentuan sifat-sifat fluida, seperti pendefinisian harga densitas, viskositas, temperatur fluida dan lain-lain.

- Penentuan kondisi batas model geometri, lokasi pembuatan kondisi batasharus ditentukan baik pada daerah sekeliling benda maupun pada aliran yang diperhitungkan.
- Penentuan besar kecilnya atau kekasaran *grid (mesh)*.

Analisa masalah aliran yang berupa kecepatan, tekanan atau temperatur didefinisikan sebagai suatu daerah yang berupa simpul-simpul tiap *cell*. Jumlah *cell* dalam *grid (mesh)* menentukan akurasi penyelesaian CFD. Pada umumnya semakin memiliki perubahan bentuk yang sangat tajam, biasanya proses *meshing* dilakukan dengan sangat halus, sedangkan untuk daerah yang lain dilakukan agak kasar.

b. Solver Manager

Solver dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu *finite difference*, *finite element* dan *finite volume*. Secara umum metode numerik *solver* tersebut terdiri dari langkah-langkah sebagai berikut:

- Perkiraan variabel yang tidak diketahui dengan menggunakan fungsi sederhana.
- Diskretisasi dengan substitusi perkiraan-perkiraan tersebut dengan persamaan aliran yang berlaku dan berbagai manipulasi matematik.
- Penyelesaian dari persamaan aljabar.

Boundary condition inlet adalah input aliran fluida pada kondisi normal tanpa adanya fenomena yang terjadi.

- Massa dan momentum

Momentum yang terjadi pada aliran fluida yang dipengaruhi oleh massa dan kecepatan dengan vektor kecepatan U , V dan W . Arah yang diambil dalam perlakuan terhadap *boundary* adalah arah normal terhadap domain. Komponen kecepatan aliran potensial (*cartisien velocity vector*) adalah dengan resultan:

$$U_{inlet} = U_{spec}^j + U_{spec}^i + U_{spec}^k$$

- Tekanan total

Tekanan total, plot untuk fluida didefinisikan sebagai:

$$P_{tot} = P_{stat}$$

- Kecepatan laju aliran massa

Batas laju aliran massa, ditentukan sepanjang arah komponen, dimana influx massa dihitung menggunakan rumus:

$$\rho U = m / \int dA$$

Boundary condition outlet

- Kecepatan *outlet*

Komponen kecepatan *outlet boundary* adalah komponen *cartisien velocity*.

$$U_{outlet} = U_{spec}^j + U_{spec}^i + U_{spec}^k$$

- Tekanan *outlet* fluida

Tekanan *outlet* fluida adalah tekanan *static inlet* ditambah perubahan tekanan yang terjadi

$$P_{tot} = P_{stat} + \frac{1}{2} \rho U^2$$

Boundary condition wall

- Tekanan statis rata-rata

Wall relative static pressure adalah:

$$P_{av} = \frac{1}{A} \int P dA$$

- *Mass flow rate out*

Distribusi massa di daerah *wall* ditentukan oleh aliran berat massa.

- *Heat transfer*

Perpindahan panas ditentukan *diabatic* pada *wall boundary* kapal karena pengaruh energi panas yang begitu kecil terhadap nilai *lift* sehingga:

$$Q_{wall} = 0$$

c. Post Processor

Pada step ini akan ditampilkan hasil perhitungan yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya. Hasil perhitungan dapat dilihat berupa data numerik dan data visualisasi aliran fluida pada model. Data numerik yang diambil adalah data nilai variabel sifat fluida, dimana data yang dapat diambil diantaranya sebagai berikut:

- *Density*
- *Density viscosity*
- *Pressure*
- *Pressure gradient*
- *Shear strain rate*
- *Temperatur*
- *Total Pressure*
- *Wall shear*
- *Yplus*

Data numerik yang dapat ditampilkan oleh *post processor* meliputi data *export* dan *quantitative calculation*.

Dalam proses *set-up* dan *running* simulasi CFD, ada tahapan identifikasi dan formulasi permasalahan aliran dengan pertimbangan fenomena fisika dan kimia. Pemahaman yang cukup baik diperlukan dalam menyelesaikan algoritma numerik. Ada 3 konsep matematik yang digunakan dalam menentukan berhasil atau tidaknya algoritma, yaitu:

1. Konvergensi, yaitu *property* metode numerik untuk menghasilkan penyelesaian eksakta sebagai *grid spacing*, ukuran kontrol volume atau ukuran elemen dikurangi mendekati nol. Konvergensi biasanya sulit untuk didapatkan secara teoritis. Untuk kondisi lapangan, kesamaan *lax* yang menyatakan bahwa untuk permasalahan linier memerlukan konvergensi.
2. Konsistensi, yaitu urutan numerik untuk menghasilkan sistem persamaan aljabar yang dapat diperlihatkan dengan persamaan pengendali sebagai jarak *grid* mendekati nol.
3. Stabilitas, yaitu penggunaan faktor kesalahan sebagai indikasi metode numerik. Jika sebuah teknik tidak stabil dalam setiap kesalahan pembuatan *path* data awal maka dapat menyebabkan terjadinya osilasi atau *devergen*si.

CFD memberikan hasil fisik yang realistik, dengan akurasi yang baik pada *path* simulasi dengan *grid* yang berhingga. Ada tiga sifat perhitungan *finite volume*, yaitu *conservative*, *boundedness*, dan *transpotiveness*. Ketiganya didesain menjadi bagian berhingga yang dapat menunjukkan keberhasilan simulasi CFD. Disamping itu ketiganya umumnya digunakan sebagai alternatif untuk konsep matematik yang akurat. Skema numerik memiliki sifat *conservativeness* yang dapat mempertahankan kekekalan sifat fluida secara global untuk seluruh domain penyelesaian. Proses aliran ada dua, yaitu konveksi dan difusi. Keduanya dapat dihitung pengaruh arahnya dengan bagian *finite volume*, yaitu *transpotiveness*. Sedangkan *boundedness* dapat mempertahankan kestabilan suatu metode numerik.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

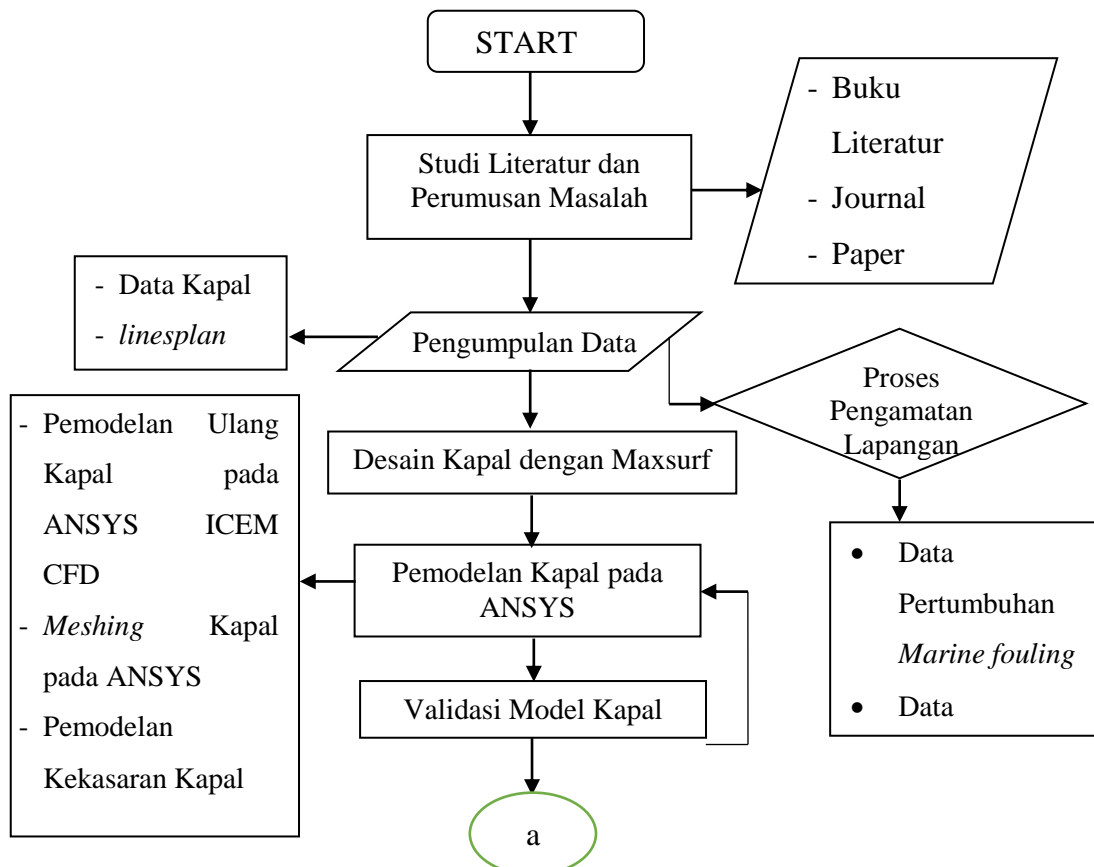
METODOLOGI

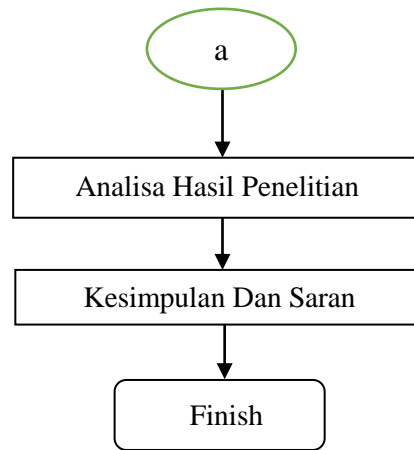
3.1 Pendahuluan

Sebagaimana yang telah dipaparkan pada pendahuluan Bab II, bahwa teori yang diuraikan pada Bab tersebut digunakan sebagai dasar bagian penyusunan Bab III. Adapun Bab III ini membahas mengenai metodologi yang digunakan untuk menyelesaikan tujuan pada penelitian ini sebagaimana yang telah disampaikan pada Bab I, subbab 1.5. Penjelasanannya meliputi langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini serta analisa respons yang dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* Ansys CFX dan penelitian di galangan.

3.2 Diagram Alir

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analitis dan numerik serta simulasi. Penelitian ini dimulai dengan mengidentifikasi suatu masalah yaitu faktor yang mempengaruhi pertumbuhan *marine fouling* pada lambung kapal yang terjadi pada *boundary layer*. Berikut ini diagram alir metode penelitian:





Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

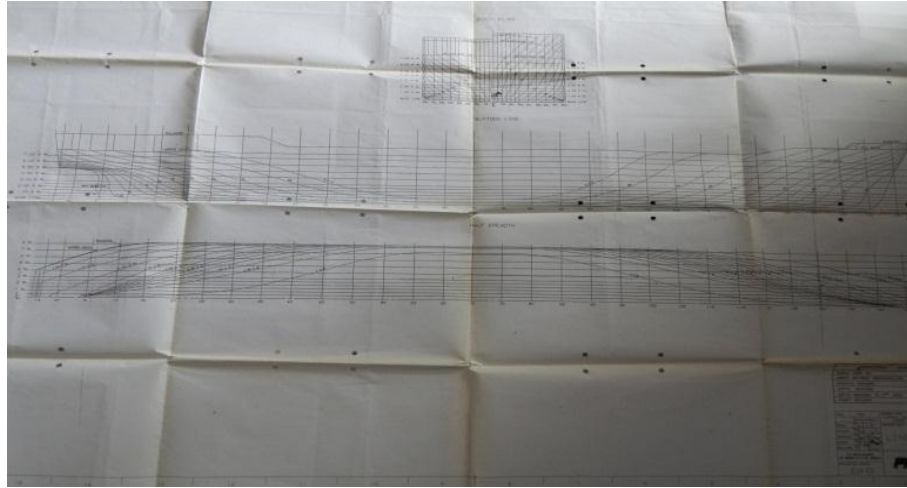
3.3 Tahap – Tahap Pengerjaan Tugas Akhir

3.3.1 Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan informasi mengenai pertumbuhan *marine fouling* dan teori lapisan batas. Tujuan tahap ini adalah untuk mengetahui karakteristik pertumbuhan fouling serta mencari teori, konsep dan rumusan perhitungan untuk menyelesaikan permasalahan yang ada. Dalam tugas akhir ini digunakan program untuk membantu beberapa perhitungan numerik yaitu Ansys CFX. Oleh karena itu perlu diketahui bagaimana cara kerja dan teori dari program tersebut. Input yang dibutuhkan untuk menjalankan program serta output yang diharapkan dalam pengerjaan tugas akhir ini. Selain itu, dalam tahap studi literatur dilakukan pengumpulan informasi mengenai data ukuran utama kapal dan *Lines Plan* untuk proses permodelan pada program perhitungan numerik.

3.3.2 Pengumpulan Data Kapal

Data Kapal yang dibutuhkan dalam tugas akhir ini diambil dari galangan Dock Perkapalan Surabaya. Data kapal berupa *Lines Plan*, dan ukuran umum badan kapal. Data lines plan ini yang nantinya akan dibuat model kapal dengan menggunakan tabel offset yang berada pada lampiran a.



Gambar 3. 1 *Lines Plan* Kapal *Semi Container* Caraka

Data ukuran utama kapal *semi container* Caraka, dari galangan Dock Perkapalan Surabaya hanya meliputi panjang, lebar, tinggi dan sarat kapal, yang masing-masing berada dalam dimensi meter. Adapun data tambahan berupa displacement kapal dengan dimensi ton. Berikut ini data kapal yang didapat dari galangan Dock Perkapalan Surabaya.

Tabel 3. 1 Ukuran Utama Kapal *Semi Container* Caraka

No	Komponen	Nilai	Dimensi
1	Loa	98	m
2	B	16.5	m
3	H	7.8	m
4	T	5.4	m
5	Displacement	5035.687	ton

3.3.3 Pengumpulan Data Pertumbuhan *Marine fouling*

Data yang didapat dalam penelitian ini adalah pertumbuhan *marine fouling* pada daerah dengan ketinggian antara 1.5 sampai 4.5 meter. Pada Tabel 3.2 di bawah ini akan ditunjukkan pertumbuhan *marine fouling* pada kapal.

Tabel 3. 2 Pertumbuhan *Marine Fouling* pada Lambung Kapal Caraka

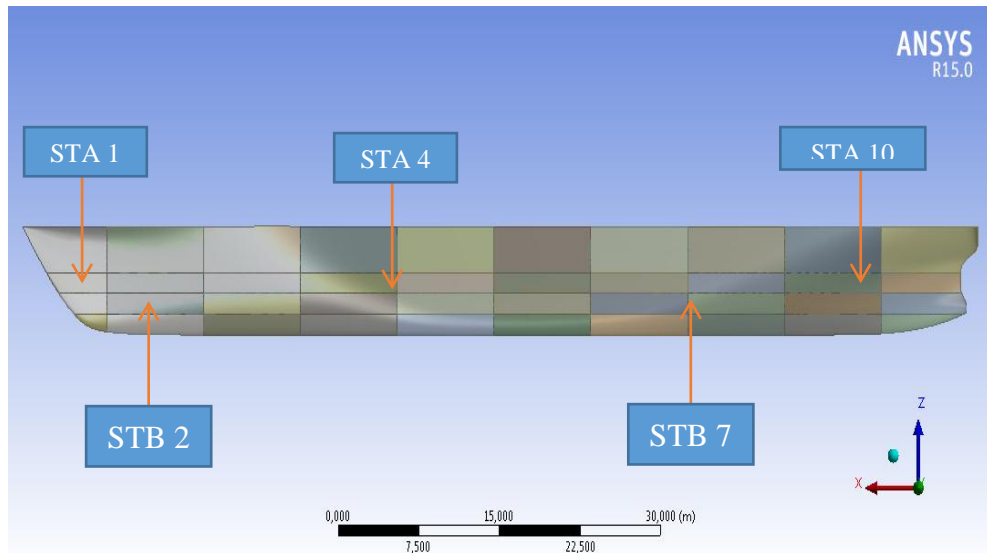
Stasion	Sarat 3 m (mm)	Sarat 1.5 m (mm)
st 1	10,0	9,0
st 2	9,0	8,0
st 3	8,0	7,0
st 4	6,0	5,5
st 5	7,0	6,5
st 6	8,0	7,0
st 7	7,0	6,5
st 8	7,0	6,0
st 9	8,0	7,0
st 10	7,0	8,0

Data diatas dilengkapi dengan foto pertumbuhan *marine fouling* pada lambung kapal, yang akan ditampilkan dalam lembar lampiran b. Selanjutnya dari data ini kemudian dicari rata-rata pertumbuhan *marine fouling* pada keseluruhan lambung kapal, guna untuk mencari nilai perbandingan besarnya elemen *boundary layer* pada permukaan yang ditumbuhi *fouling* merata dan tidak merata.

3.3.4 Pembuatan Model Lambung Kapal

Dalam membuat bentuk lambung kapal yang akan digunakan sebagai *input* pada program Ansys CFX dikerjakan dengan menggunakan bantuan *software* Maxsurf Modeler. Database yang akan digunakan pada tahap ini adalah *lines plan* kapal. Setelah *lines plan* sama dengan model kapal maka kapal dikonversi ke ansys CFX dari format .dxf pada maxurf modeller kemudian diubah menjadi .igs sehingga bisa dibaca dalam program ansys.

Pada model yang akan disimulasikan dalam program ansys CFX, model akan dibagi menjadi 10 bagian secara memanjang dan 4 bagian secara vertikal. Pada pembagian ini masing-masing bagian secara memanjang di beri nama *station*, dimana *station 1* (ST1) dimulai dari haluan. Adapun untuk bagian secara masing-masing diberi simbol bagian atas (A) dan bagian bawah (B), hal ini akan diperjelas dengan ilustrasi gambar 3.3 dibawah ini.



Gambar 3. 2 Pembagian *Station* pada Model Kapal

3.3.5 Simulasi CFD

Pada proses simulasi *computation fluid dynamics* (CFD) ansys CFX secara umum terbagi menjadi tiga tahapan besar. Tahapan-tahapn tersebut meliputi:

1. Pre-processor

Pada tahap ini digunakan *software* ansys CFX-PRE untuk menentukan kondisi lingkungan, yang meliputi *inlet*, *outlet*, interaksi dinding batasdengan fluida dan obyek pengujian, kecepatan aliran potensial fluida, temperatur dan kondisi-kondisi lainnya yang berpengaruh terhadap proses pengujian.

2. Processor

Pada tahap ini dikenal dengan ansys CFX-*solver* yang merupakan tahap perhitungan atau tahap pemecahan masalah berdasar perhitungan numerik yang yang menjadi dasar perhitungan sofware. Pada ansys CFX user mendefinisikan sendiri kapan perhitungan iterasi tersebut dikatakan konvergen. Pada tugas akhir ini iterasi berhenti pada 10^{-4} .

3. Post-processor

Pada tahap akhir dilakukan perhitungan. Analisa dan visualisasi hasil menggunakan program ansys CFX-POST, dimana akn menampilkan hasil berupa angka pada suatu bidang tertentu.

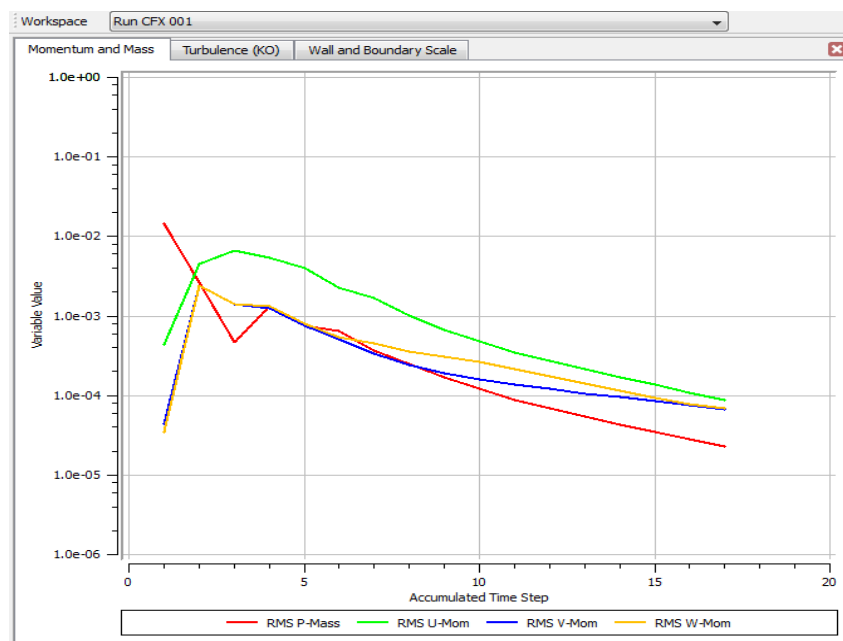
3.3.6 Validasi Software

Untuk memberikan hasil yang bisa dipertanggung jawabkan maka analisa *software* memerlukan tahapan validasi. Dalam penelitian ini terdapat dua cara untuk melakukan validasi hasil yang telah diberikan oleh *software*, yaitu:

1. Konvergensi

Proses perhitungan atau yang biasa disebut sebagai proses iterasi pada tahap *flow solver* dilakukan jika semua kondisi batas sudah ditentukan. Banyaknya proses iterasi berpengaruh terhadap tingkat akurasi yang dapat diperoleh. Penentuan banyaknya iterasi dipengaruhi oleh tingkat ketelitian dari model yang telah dibuat. Semakin banyak jumlah grid yang dipakai dalam pemodelan maka semakin banyak pula iterasi yang dilakukan untuk perhitungan model tersebut.

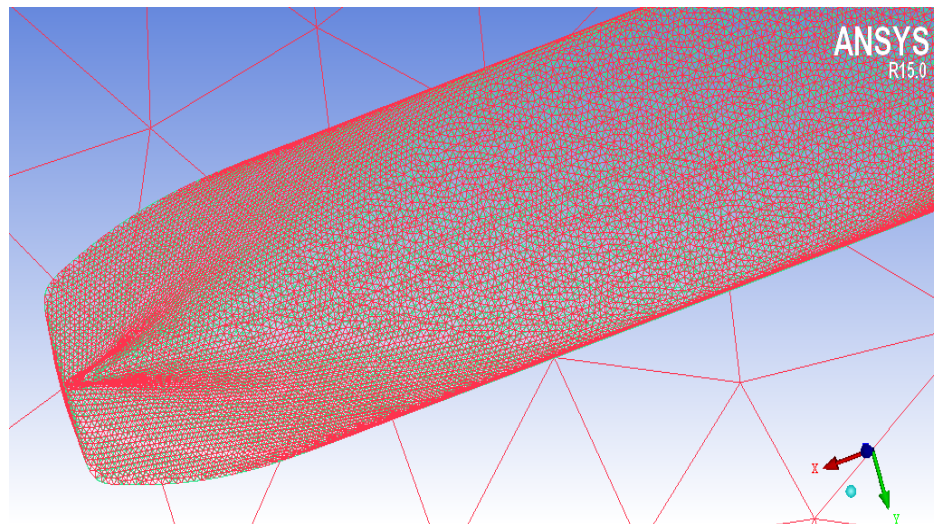
Proses iterasi akan berhenti jika telah mencapai batas *convergence* yang telah ditentukan. Pada proses ini perhitungan dilakukan hingga menuju nilai error terkecil atau didapatkan nilai yang konvergen. *Convergence criteria* yang digunakan dalam proses iterasi yang menggunakan ansys CFX ini adalah 10^{-4} . Jika semua nilai tidak melewati batas konvergensi maka hasil bisa dikatakan tidak valid. Untuk memecahkan masalah ini maka harus dilakukan pengecekan pada setting maupun geometri yang sudah dibuat. Gambar 3.4 dibawah ini menunjukkan iterasi yang sudah melewati batas *convergence*.



Gambar 3. 3 Konvergensi Simulasi *Full Viscous*

2. *Grid independence*

Grid independence didefinisikan sebagai kumpulan elemen yang bergabung membentuk suatu bentuk tertentu. Penentuan jumlah grid yang dipakai dalam pemodelan kapal berpengaruh terhadap tingkat ketelitian dari model tersebut. Semakin kecil ukuran grid yang digunakan maka akan semakin banyak jumlah grid dan waktu yang dibutuhkan dalam melakukan simulasi.



Gambar 3. 4 Bentuk *Grid* pada ICEM Ansys CFX

Gambar 3.5 merupakan contoh *grid* yang dibentuk melalui *software* ICEM. Ukuran grid yang kecil akan berpengaruh terhadap tingkat kehalusan dari setiap badan kapal. Penggunaan ukuran *grid* yang terlalu besar juga akan berpengaruh terhadap bentuk badan kapal yang dihasilkan sehingga dapat mengurangi hasil yang diperoleh. Menurut Utama (2010) jumlah elemen model CFD disebut optimum jika selisih output antara 2 percobaan yang berurutan berdasarkan penambahan elementnya adalah 2%.

3.3.7 Menghitung Tegangan Geser, Kecepatan aliran potensial pada Badan Kapal serta Nilai Energi Kinetik Turbulensi Lambung Kapal.

Pada analisa besarnya nilai tegangan geser, kecepatan aliran potensial air pada badan kapal dan turbulensi dengan dan tanpa kekasaran pada program ansys CFX, dibutuhkan sebuah data hasil keluaran yang diambil dari *running* program ansys CFX. Data yang dihasilkan meliputi besarnya nilai tegangan geser permukaan, y^+ , kecepatan aliran potensial searah sumbu x (u_e) dan tekanan pada lambung kapal. Dari hasil tersebut, selanjutnya di masukkan dalam formula untuk menghitung nilai turbulensi pada lambung

kapal. Perhitungan nilai turbulensi ini mengacu pada teori cabecchi yang telah dijelaskan pada BAB II bagian dasar teori.

3.3.8 Perbandingan Karakteristik Lapisan batas terhadap Pertumbuhan *Marine fouling*

Pada akhirnya, setelah semua langkah yang telah dijelaskan diatas dilakukan, perbandingan nilai karakteristik lapisan batas dengan dan tanpa menggunakan kekasaran yang merata dan tidak merata terhadap pertumbuhan *marine fouling* pada lambung kapal mempunyai ekuivalensi yang benar apa tidak. Dengan adanya ekuivalensi nilai karakteristik dan pertumbuhan *marine fouling* menunjukkan ada tidaknya keterkaitan antara pertumbuhan *marine fouling* terhadap karakteristik teori lapisan batas, dan diharapkan setelah penelitian ini dilakukan dapat diketahui ada tidaknya pengaruh karakteristik lapisan batas terhadap pertumbuhan *marine fouling*.

3.4 Spesifikasi Komputer untuk Perhitungan Numerik

Guna mendukung berjalannya proses perhitungan numerik dengan komputer, maka diperlukan spesifikasi tertentu dari komputer agar proses *running* berjalan cepat. Adapun spesifikasi yang digunakan oleh penulis adalah:

1. Processor : Intel ® Core (TM) i5 – 2450M CPU @2.50GHz
2. Installed Memory (RAM) : 4.00 GB (7,88 GB usable)
3. System Type : 64-bit Operating System
4. Operating System : Windows 7 Pro © Microsoft Corporation All rights reserved.

BAB IV

PEMBUATAN MODEL KAPAL DAN SIMULASI

4.1 Pendahuluan

Pada Bab III sebelumnya telah disinggung bahwa pada penelitian ini analisa pengaruh karakteristik lapisan batas terhadap pertumbuhan *marine fouling* dikaji dalam kondisi gelombang reguler. Pada Bab IV ini akan dijelaskan bagaimana memodelkan kapal *semi container* untuk kemudian dianalisa nilai kecepatan aliran potensial, tegangan geser permukaan dan energi kinetik turbulensi-nya dengan menggunakan metode numerik.

4.2 Perhitungan Pertumbuhan *Marine fouling* pada Lambung Kapal

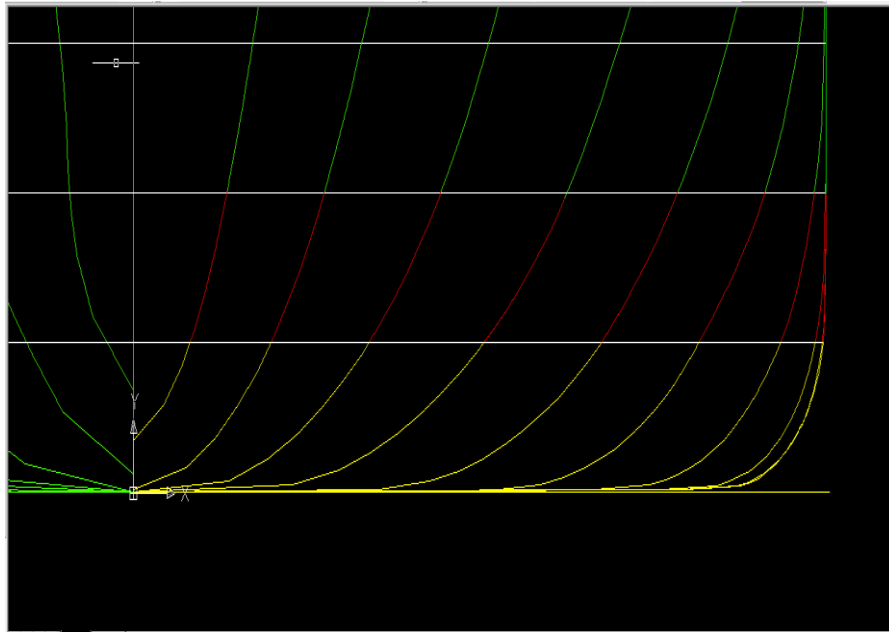
Dalam perhitungan persebaran pertumbuhan *marine fouling* ini kapal kapal di bagi menjadi 10 bagian secara memanjang. Pada masing-masing bagian memanjang dibagi lagi menjadi 4 wilayah, yang meliputi wilayah 1 (dasar alas sampai dengan ketinggian 1.5 meter), wilayah 2 (ketinggian 1.5 sampai dengan 3 meter), wilayah 3 (ketinggian 3 sampai dengan 4.5 meter), dan untuk wilayah 4 (ketinggian diatas 4.5 meter). Dimana dalam penelitian ini wilayah yang menjadi fokus penelitian adalah wilayah 2 dan 3, sebagaimana yang telah digambarkan dalam gambar 3.3 diatas.

Hasil pendataan pertumbuhan *marine fouling* yang didapatkan sebagaimana yang telah ditampilkan pada tabel 3.2 diatas, selanjutnya di cari rata-rata ketinggian *marine fouling* secara umum yang nantinya akan dijadikan acuan untuk mengetahui nilai dari masing-masing komponen seperti tegangan geser dinding, pressure, y^+ dan yang lainnya dengan tingkat kekasaran yang bervariasi (lambung halus, kekasaran merata dan kekasaran yang tidak merata).

Berikut ini tahapan-tahapan yang dilakukan dalam menghitung kekasaran lambung kapal secara merata:

4.2.1. Penentuan Luas Permukaan Basah pada Masing-masing Bagian

Dalam menentukan luasan permukaan basah pada masing-masing bagian. Untuk menentukan luasan kita perlu menentukan panjang kurva pada masing-masing bentuk *body plan* yang berada di tengah dan kedua ujung. Sebagaimana gambar 4.1 di bawah ini.



Gambar 4. 1 Pembagian Kurva pada Masing-masing Daerah

Dalam menentukan luasan kita inputkan kurva yang mengapit bagian tersebut ditambah dengan kurva tengah yang berada diantara kedua kurva pengapit. Selanjutnya dicari luasan dengan menggunakan metode simpson 141. Sebagaimana tabel 4.1 dibawah ini:

Tabel 4. 1. Perhitungan Luasan pada Masing-masing Bagian

<i>Station</i>	Simpson	Total
0	1	0
0,4077	4	1,6308
1,4977	1	1,4977
Σ Luas Station		1,0428

Perhitungan luasan ini dilakukan pada masing-masing bagian, yaitu sebanyak 20 bagian. Bagian ini yang kemudian akan digunakan sebagai faktor pengali pertumbuhan *marine fouling* pada masing-masing bagian. Adapun untuk perhitungan pada bagian yang lain akan ditampilkan pada lembar lampiran c.

4.2.2. Penentuan Rata-rata Pertumbuhan *Marine fouling* pada Badan Kapal

Dalam menentukan rata-rata pertumbuhan *marine fouling*, luasan pada masing-masing bagian kemudian dikalikan dengan rata-rata pertumbuhan fouling pada masing-

masing bagian. Hasil dari perkalian luasan dengan pertumbuhan *marine marine fouling* tiap bagian tersebut selanjutnya kita jumlahkan sebanyak jumlah bagian. Hal ini di gambarkan dalam tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4. 2. Perhitungan Perkalian Tinggi *Marine Fouling* terhadap Luasan

No	Luas Permukaan <i>Station</i>	Tinggi Fouling	Total
1	1,042833	0,900	0,9386
2	2,051900	1,000	2,0519
3	4,951867	0,800	3,9615
4	2,628867	0,900	2,3660
5	7,316500	0,700	5,1216
6	2,618867	0,750	1,9642
7	4,196567	0,550	2,3081
8	2,031600	0,600	1,2190
9	2,929800	0,650	1,9044
10	2,000000	0,650	1,3000
11	2,919800	0,700	2,0439
12	2,000000	0,750	1,5000
13	3,535600	0,650	2,2981
14	2,014600	0,700	1,4102
15	4,766900	0,600	2,8601
16	2,253633	0,700	1,5775
17	4,975633	0,700	3,4829
18	2,332067	0,750	1,7491
19	3,004300	0,800	2,4034
20	6,452000	0,700	4,5164
Σ1	66,023333	Σ2	49,8422

Hasil diatas selanjutnya digunakan untuk menentukan tinggi rata-rata, dengan cara menjumlahkan total *marine fouling* yang telah didapatkan dibagi dengan total luasan seluruh bagian. Nilai dari tinggi rata-rata *marine fouling* ini yang kemudian digunakan sebagai tinggi rata-rata kekasaran lambung kapal (Ks) untuk di inputkan dalam *roughness wall* ansys CFX. Adapun untuk besar nilai dari tinggi *marine fouling* yang didapatkan dipaparkan dalam tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel 4. 3. Tinggi Rata-rata *Marine Fouling* pada Lambung Kapal

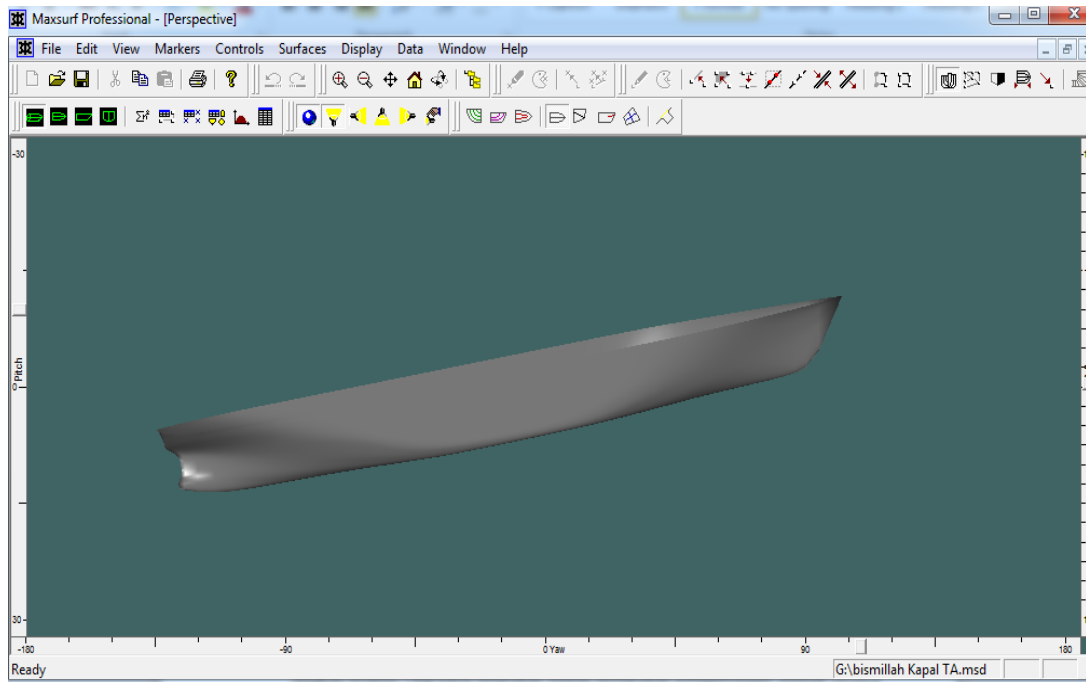
	Formula	Nilai	Dimensi
Tinggi rata-rata pertumbuhan <i>marine fouling</i>	$\Sigma 2 / \Sigma 1 =$	7.11518175	mm

4.3 Pembuatan Model Lambung Kapal *Semi Container* Caraka dengan menggunakan *software* Maxsurf.

Dari *lines plan* yang sudah didapatkan, bentuk kapal *semi container* Caraka harus disimulasikan dalam bentuk tiga dimensi. Hal ini dilakukan sebagai inputan model NURB *surface* yang akan dilakukan pada program ansys CFX. Dalam pembuatan model kapal *semi container* Caraka di maxsurf modeller, model maxsurf memiliki bentuk yang dan karakteristik yang sama dengan data kapal yang didapat.

Untuk membuat model kapal *semi container* Caraka di Maxsurf harus dibuat *surface* kapal. Langkah pertama yang harus dilakukan adalah membentuk *surface* adalah dengan cara pilih perintah *surface* kemudian add *surface*, pilih *surface* sesuai keperluan. Dalam setiap *surface* terdapat beberapa *control point* dan *control point* terbentuk dari input ukuran untuk merubah letaknya, diantaranya adalah *longitudinal position* mewakili sumbu-x, *offset* mewakili sumbu-y, dan *height* mewakili sumbu-z. Titik acuan perhitungan berada pada settingan titik *zero point*. Dari control point inilah *surface* dapat dibentuk sesuai dengan bentuk ukuran kapal.

Ketika semua *surface* telah dibentuk sesuai dengan bentuk rencana garisnya maka langkah terakhir yang harus dilakukan adalah melakukan penggabungan seluruh *surface* yang telah dibuat dengan *tools Bonding*. Ada persyaratan yang harus dilakukan ketika melakukan penggabungan atau dalam perintah maxsurf pro disebut *bond edge*, yakni dua *surface* yang akan di gabung harus memiliki jumlah *coloumn* dan *row* yang sama. Apabila berbeda maka perintah *bond edge* tidak bisa dilakukan. *Bond edge* tidak bisa dilakukan pada *surface* yang hanya memiliki dua *control point*. Gambar 4.2 menunjukkan hasil dari pembuatan model kapal *semi container* pada Maxurf Modeller.



Gambar 4. 2 Model Kapal *Semi Container* Caraka pada Maxsurf Pro

Setelah model selesai dibuat dilakukan *running* hidrostatik pada Maxsurf modeller untuk melakukan validasi ukuran model maxsurf dengan model kapal *semi container* Caraka sebenarnya. Toleransi kesalahan yang digunakan pada Tugas akhir ini sebesar 2%, sehingga diharapkan model yang dibuat dapat mendeskripsikan karakteristik objek yang diteliti. Berikut hasil validasi model *semi container* Caraka.

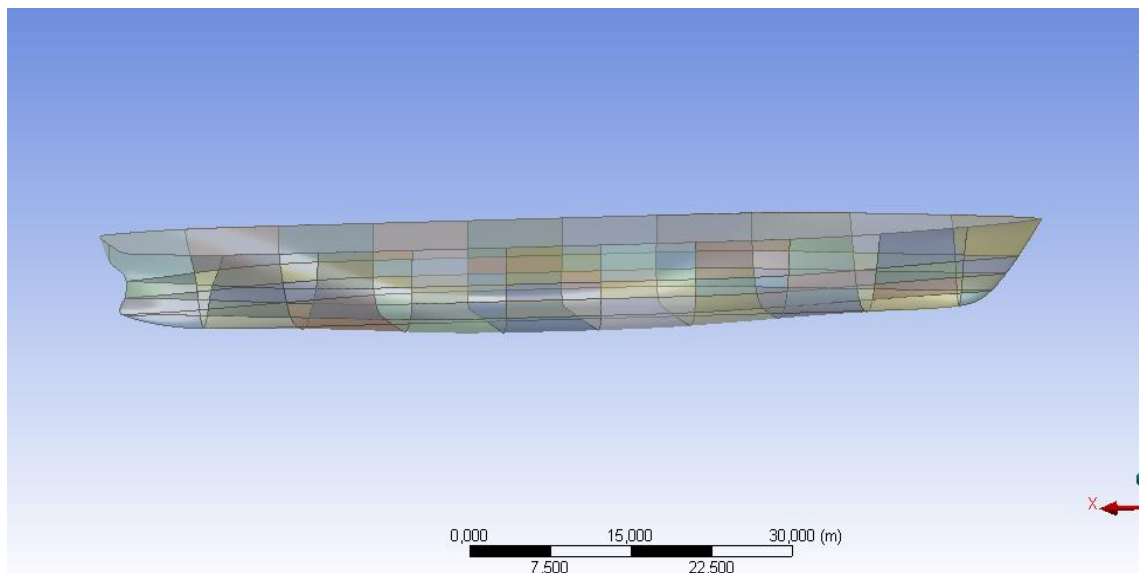
Tabel 4. 4. Validasi Hidrostatik *Semi Container* Caraka pada Maxsurf

No.	Komponen	Nilai		Unit	Selisih [%]
		Data Kapal	Data Maxsurf		
1	L _{OA}	98	98	meter	0
2	B	16.5	16.5	meter	0
3	H	7.8	7.8	meter	0
4	T	5.4	5.4	meter	0
5	Displacemen	5035.687	5036.789	ton	1.098

4.4 Permodelan Kapal *Semi Container Caraka* pada Ansys CFX

4.4.1. Permodelan *Geometry*

Pemodelan *geometry* dilakukan setelah model kapal *semi container Caraka* selesai dimodelkan dalam bentuk 3D pada maxsurf modeler, selanjutnya kapal diexport kedalam ansys *geometry* CFX. Langkah awal adalah mentransfer file geometri dalam bentuk maxsurf.msd ke dalam program Ansys CFX, hal ini dilakukan dengan cara mengubah bentuk file model dari Maxsurf.msd menjadi Maxsurf. Igs. Pada *tools export* dalam maxsurf terdapat pilihan *export to IGS*, *tools* tersebut merupakan proses export dimana file awal dalam format .msd menjadi bentuk NURB 3D *surface*.(igs). Format .igs adalah salah satu format permodelan yang mampu dibaca oleh Ansys CFX, maka dari itu hasil output .igs dari Maxsurf Pro yang akan digunakan sebagai inputan model pada program Ansys CFX. Dalam *geometry* ini lambung kapal kemudia dipecah-pecah guna mendapatkan nilai tegangan geser, *velocity* profil maupun tekanan sesuai dengan area pertumbuhan *marine fouling*, yang dalam hal ini kapal dibagi menjadi 10 bagian searah memanjang dan 4 bagian searah vertikal. Bagian yang akan ditinjau ada 2 dan 3 bagian vertikal dari bawah, dengan ketinggian antara 2 sampai 3 meter.

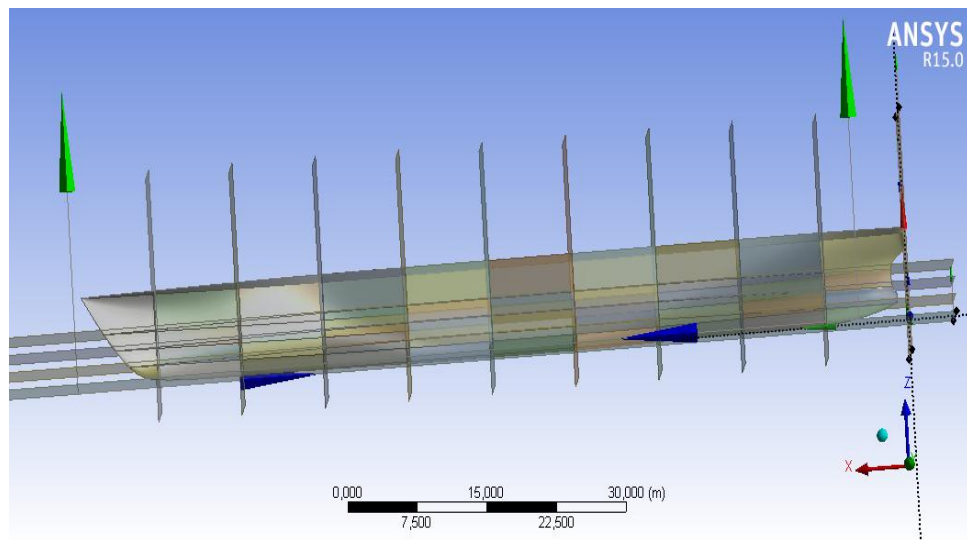


Gambar 4. 3 Pembagian Model Kapal

Dalam pembagian lambung pada kapal, berikut ini langkah-langkah yang harus dilakukan:

- Pertama membuat *surface* yang digunakan sebagai alat bantu dalam proses pemotongan lambung kapal. Langkah ini meliputi: Langkah awal dilakukan dengan

membuat gambaran penempatan titik dalam *note* yang nantinya di gunakan sebagai acuan dalam pembuatan *surface*. Setelah pembuatan *note* selesai maka dilanjutkan dengan membuat titik koordinat sesuai dengan apa yang telah digambarkan pada *note*, dengan menginput *file* pada *note*. Selanjutnya membuat garis untuk menghubungkan masing-masing point yang kemudian diakhiri dengan membuat *surface* pada garis tersebut. Setelah *surface* selesai terbentuk, kemudian dilanjutkan dengan mengadakan sejumlah berapa banyak potongan yang kita inginkan. Contoh penempatan *surface* pada kapal digambarkan pada gambar 4.4 dibawah ini.



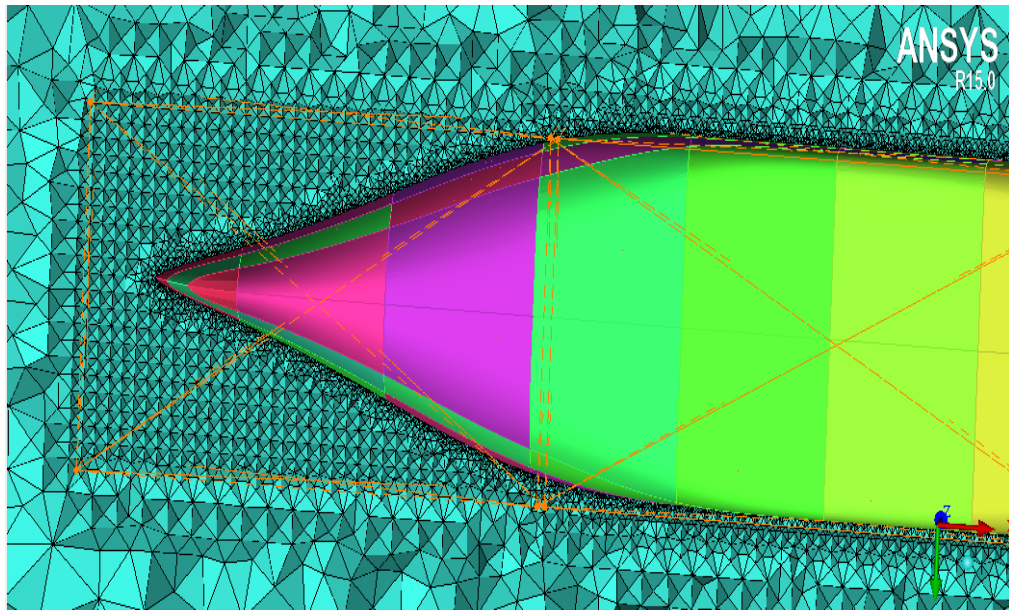
Gambar 4. 4 Pemasangan *Surface* pada Lambung Kapal

- Selanjutnya pemotongan badan kapal dengan menggunakan *tool slice*. *Surface* yang sudah ditempatkan pada badan kapal kemudian dijadikan pemotong badan kapal dengan *tool slice*. Setelah kapal terpotong sesuai dengan yang telah ditentukan selanjutnya alat yang digunakan sebagai pemotong kemudian dihilangkan dengan cara klik *tool suppress body*. Selanjutnya kapal siap untuk ditransfer kedalam *software* ICEM untuk melakukan *meshing* pada kapal.

4.4.2. Proses *Meshing* pada kapal semi container Caraka.

Dalam penelitian ini, proses *meshing* dilakukan dengan bantuan *software* ICEM CFD dan jenis *mesh* yang digunakan untuk membentuk *boundary* yaitu *unstructured tetrahedral mesh* yang dikombinasikan dengan *structure mesh* sebagai *inflation*. Karena pemodelan merupakan pemodelan 3-dimensi, maka proses *meshing* yang digunakan adalah *volume meshing*.

Gambar 4.5 di bawah ini merupakan *mesh* tetrahedral standart atau *Octree* yang dihasilkan melalui proses *generate mesh* dengan *software* ICEM CFD. Bentuk *mesh* seperti ini digunakan hanya untuk menyusun *mesh* dalam boundary dan memiliki tingkat akurasi yang cukup rendah dalam proses simulasi fluida seperti *full viscous simulation* (Schroeder, et al. 1990), sehingga dibutuhkan proses *smoothing* untuk merekonstruksi *meshing standart* sebelumnya untuk mendapatkan *meshing* yang lebih baik.

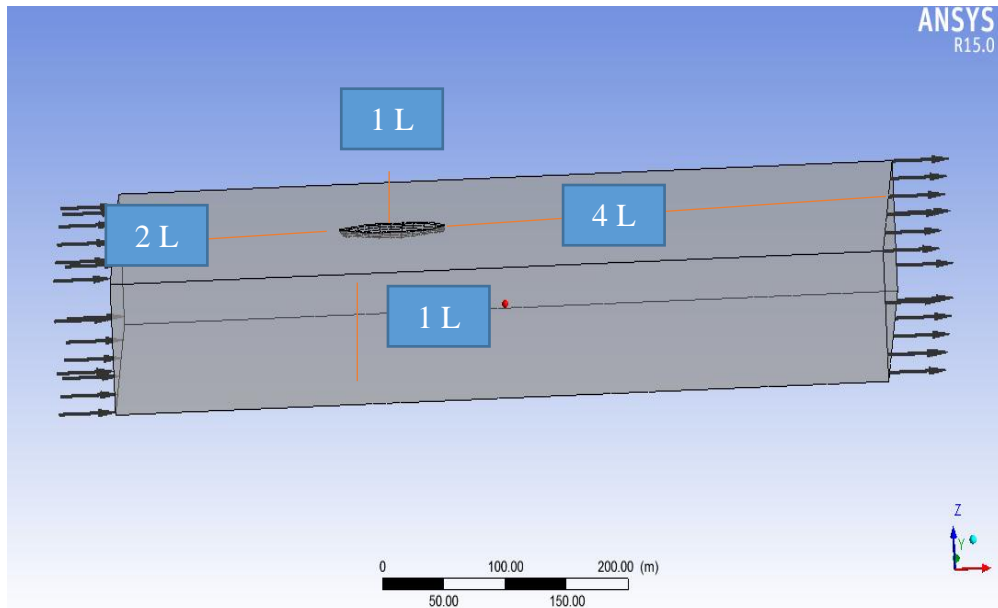


Gambar 4. 5 Proses *Meshing Tetrahedral* pada Fluid

Di dalam penelitian ini, proses *mesh* tidak berhenti hanya pada proses perbaikan *mesh* atau *smoothing* saja, tetapi juga dengan meningkatkan *grow rate mesh* yang digunakan sehingga dapat mengatur rapat renggangnya *mesh* pada bagian-bagian tertentu seperti merapatkan bagian disekitar model dan sepanjang *full viscous* dan merenggangkan bagian-bagian lain yang berjauhan dengan model sehingga dapat memangkas waktu *running* tanpa mengurangi keakuratan hasil simulasi.

4.4.3. Penentuan *Boundary Condition*

Proses simulasi dalam CFD tidak lepas dari penentuan *boundary condition* atau kondisi batas yang merupakan wilayah kerja dari simulasi yang akan dijalankan. *Boundary condition* dibentuk dengan memperhatikan jarak model ke batas-batas *domain* seperti jarak *upstream* dan *downstream* terhadap model, sehingga tidak ada pengaruh dari batas-batas domain terhadap model. Jarak model ke batas-batas domain ditunjukkan pada Gambar 4.6 berikut.



Gambar 4. 6 Gambar Dimensi Domain

Domain dapat diartikan sebagai media dimana model uji bergerak. Dalam kasus ini media yang digunakan merujuk pada terowongan air dengan massa jenis sebesar 997 kg/m^3 . Digunakan model aliran *turbulent* SST pada simulasi ini. SST merupakan pemodelan yang tepat untuk menentukan nilai pada sekitar *boundary layer* dengan akurasi yang cukup bagus. Dalam peletakan posisi kapal, kapal diletakkan pada sebuah domain yang sudah dibuat dengan ukuran depan 2 dikali panjang kapal, belakang 4 kali panjang kapal, sisi 1 kali panjang kapal dan bagian bawah 1 kali panjang kapal. Secara dimensional ukuran $p \times l \times t = 720 \text{ m} \times 180 \text{ m} \times 90 \text{ m}$. Hal ini terlihat sebagaimana gambar 4.6 diatas

Boundary condition yang digunakan dalam penelitian ini meliputi sebaga berikut:

- *Inlet*

Inlet tempat dimana fluida didefinisikan akan masuk, pada sisi ini aliran akan didefinisikan masuk sesuai dengan kecepatan kapal. Pada simulasi ini fluida diasumsikan sebagai elemen yang bergerak sesuai dengan kecepatan kapal, sedangkan kedudukan kapal pada posisi ini seolah-olah diam. Penerapan kondisi batas untuk *inflow* adalah ketinggian aliran fluida (air dan udara), tekanan udara, gaya gravitasi, suhu fluida dan model turbulen yang perlu diterapkan. Dalam penelitian ini besar kecepatan yang di inputkan ada dua jenis yaitu 6 knot (menunjukkan *froud number* yang rendah) dan 12 knot (menunjukkan *froud number* yang tinggi).

- *Outlet*

Outlet merupakan sisi yang berseberangan dengan *inlet*, yaitu tempat dimana fluida didefinisikan akan keluar. Jenis tekanan pada baian ini menggunakan *static*

pressure yang berarti tekanan statis. Hal ini dikarenakan adanya tekanan yang timbul akibat gelombang yang dihasilkan oleh badan kapal. Pada kasus ini diasumsikan bahwa gelombang yang dihasilkan akibat gerak kapal sudah tidak berbentuk sehingga tidak terjadi fenomena kembalinya gelombang yang dapat mengurangi tingkat akurasi dari hasil yang diperoleh.

- *Wall dan top*

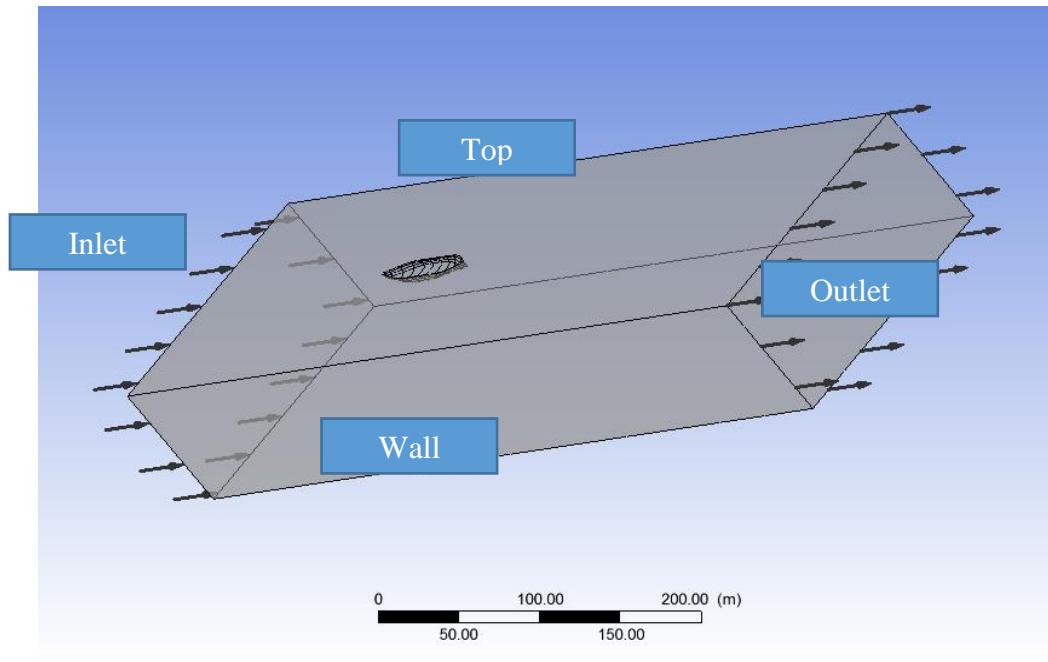
Dinding fluida dianggap berada pada kondisi bebas dari gesekan sehingga boundary detail diisikan *free slip wall*. Pada bagian ini kondisi batas yang diterapkan berarti kecepatan fluida yang mendekati bagian ini tidak akan mengalami perlambatan sehingga dengan kata lain pada bagian ini tidak mengalami kekasaran.

- *Ground*

Dinding fluida dianggap berada pada kondisi tidak ada gesekan sehingga boundary detail di isikan *no slip wall*. Asumsi ini berbeda dengan yang diberikan pada *wall*, hal ini dikarenakan pada *wall* jarak antara benda dengan lingkungan sekitar terlampaui jauh sedangkan pada *ground* masih terdapat jarak yang memungkinkan untuk memberikan pengaruh pada kapal.

- *Kapal*

Pada bagian kapal kondisi yang perlu diterapkan adalah pengaruh kekasaran badan kapal terhadap aliran fluida, sehingga badan kapal pada tahap ini dianggap sebagai dinding dan lokasi untuk kondisi batas ini. Penerapan dinding pada bagian ini berbeda dengan penerapan kondisi batas pada dinding-dinding disekeliling domain. Lokasi dari kondisi batas ini adalah seluruh badan kapal. Kondisi batas yang diterapkan adalah *no slip wall* dengan tingkat kekasaran dinding adalah *smooth wall* dan tingkat kekasaran tertentu. Pada penerapan kondisi ini berarti badan kapal memiliki kekasaran dan berpengaruh terhadap aliran fluida disekitar kapal. Hal ini berarti kecepatan fluida yang mendekati badan kapal akan mengalami perlambatan yang kemudian menghambat laju kapal, sehingga pada akhir simulasi nantinya dapat diketahui besar gaya yang menghambat laju maupun nilai-nilai lain yang memberikan pengaruh terhadap lambung kapal, seperti tegangan geser, tekanan dan lain sebagainya.



Gambar 4. 7 Gambar Bagian-bagian *Boundary Condition*

Pada gambar 4.7, menunjukkan bagian-bagian *boundary conition* pada pemodelan kapal. Adapun definisi *boundary condition* (Gambar 4.7) yang digunakan dalam simulasi ini secara umum dirangkum pada Tabel 4.5 di bawah ini.

Tabel 4. 5. Pendefinisian Kondisi Batas

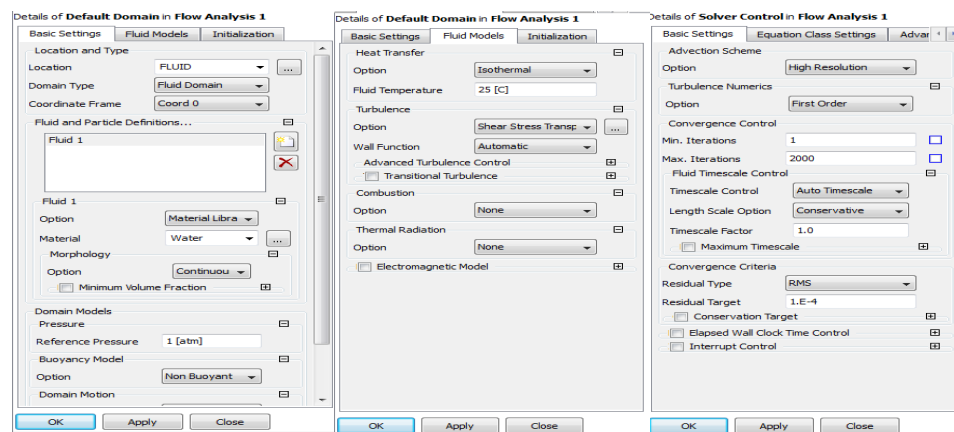
Boundary	Definisi
<i>Inlet</i>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Kecepatan aliran potensial yang masuk ke dalam boundary ○ 5% intensity turbulen ○ Kecepatan yang dimasukkan ada dua variasi, yaitu 12 knot dan 6 knot
<i>Outlet</i>	Static Pressure = 0 Pa
Bottom	No slip condition
Top	Free slip condition
<i>Wall</i>	Free slip condition

Model	<ul style="list-style-type: none"> ○ No slip condition ○ Kekasaran permukaan model <ul style="list-style-type: none"> • Permukaan halus • Kekasaran merata dengan <i>sand grain</i> 7.11 mm • Kekasaran tidak merata dengan <i>sand grain</i> berdasarkan data pada Table 3.2
-------	---

4.4.4. Turbulent Setting

Sama seperti penentuan *boundary condition*, turbulence setting merupakan bagian dari *Pre-Solving*. Proses ini yaitu untuk mendefinisikan model matematika dalam CFD yang akan digunakan untuk menyelesaikan proses simulasi.

Dalam mensimulasikan aliran turbulen, ada beberapa metode yang disiapkan oleh CFD untuk membantu menyelesaikan masalah turbulen seperti k-epsilon dan SST berbasis k-omega. Dalam tugas akhir ini, metode turbulen yang dipilih yaitu *Sheer Stress Transport* (SST) k-omega karena metode turbulen ini dapat mengoreksi Reynold Number yang rendah (low-Re). Adapun proses *turbulence setting* yang dilakukan dalam simulasi tugas akhir ini akan di tunjukkan pada gambar 4.8 dibawah ini.

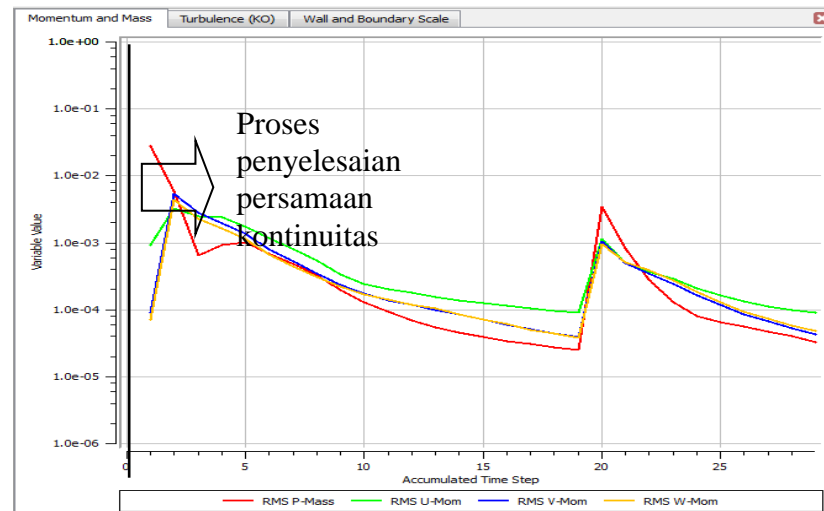


Gambar 4. 8 Proses *Input Turbulent Setting* dan Kriteria Konvergensi

Selain turbulence setting, kriteria konvergensi juga menjadi salah satu faktor yang menentukan hasil simulasi. Kriteria konvergensi yang digunakan sebagai validasi yaitu *Residual Target* 10^{-4} atau tingkat error kurang dari 10^{-4} dan persamaan kontinuitas dimana selisih fluida yang masuk dan fluida yang keluar dari domain tidak lebih dari 1%. Jumlah iterasi yang digunakan yaitu 2000 iterasi.

4.4.5. Proses Solving.

Proses *solving* merupakan proses komputasi dan monitoring. Proses monitoring ini untuk memastikan proses simulasi dapat memenuhi kriteria konvergensi. Gambar 4.9 di bawah ini merupakan monitoring *residual target* yang menunjukkan proses simulasi telah memenuhi kriteria konvergensi 10^{-4} dan kemudian proses simulasi dilanjutkan untuk memenuhi persamaan kontinuitas.



Gambar 4. 9 Kriteria Konvergensi Berdasarkan Residual Target

Nilai *residual target* 10^{-4} merupakan nilai standar dengan kriteria konvergensi paling rendah. Dengan memasukkan kriteria konvergensi yang lain seperti persamaan kontinuitas, maka kriteria residual target dapat ditingkatkan hingga 10^{-5} sampai 10^{-6} .

4.4.6. Validasi Hasil Simulasi dengan *Grid Independence*

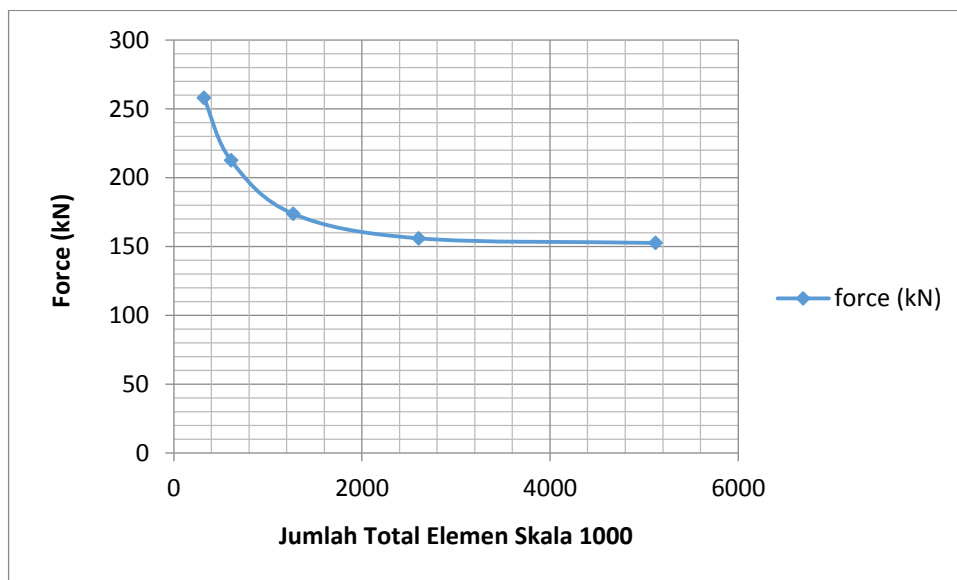
Pada ansys CFX dilakukan validasi dengan menggunakan metode Grid Independent. Grid didefinisikan sebagai kumpulan elemen yang bergabung membentuk suatu bentuk tertentu. Penentuan jumlah grid yang dipakai dalam pemodelan kapal berpengaruh terhadap tingkat ketelitian dari model. Dalam simulasi ini penggunaan *grid independence* dilakukan pada kecepatan 12 knot untuk hambatan pada kapal. Hasil perubahan hambatan terhadap jumlah elemen dalam simulasi ini disajikan pada tabel dan grafik berikut.

Tabel 4. 6. *Grid Independence*

Grid	Total Elemen	Force (kN)	Presentase
1	320433	258	
2	608178	213	21%
3	1269726	174	22%
4	2604093	156	11%
5	5120345	153	2%

Berdasarkan tabel 4.6 di atas, maka *meshing* yang digunakan adalah *grid* 4 karena menurut Utama (2010) jumlah elemen model CFD disebut optimum jika selisih output antara 2 percobaan yang berurutan berdasarkan pertambahan elementnnya adalah 2%. Sehingga dengan demikian dalam simulasi penelitian tugas akhir ini jumlah total elemen yang digunakan adalah 2604093 elemen. Selanjutnya jumlah elemen ini akan dipakai dalam simulasi dengan kecepatan yang lain dan dengan kondisi kekasaran kapal yang berbeda-beda.

Gambar grafik hasil *plotting* pada tabel 4.6 akan dipaparkan dalam gambar 4.10 di bawah ini.



Gambar 4. 10 *Grid Independence* pada Model Kapal Caraka

4.4.7. *Wall distance*

Salah satu faktor yang dapat digunakan untuk menentukan keakuratan simulasi CFD yaitu *near-wall region*, sehingga dibutuhkan *inflation layer mesh* seperti yng sudah dijelaskan sebelumnya. Aliran turbulen sangat dipengaruhi oleh adanya dinding (*no slip*

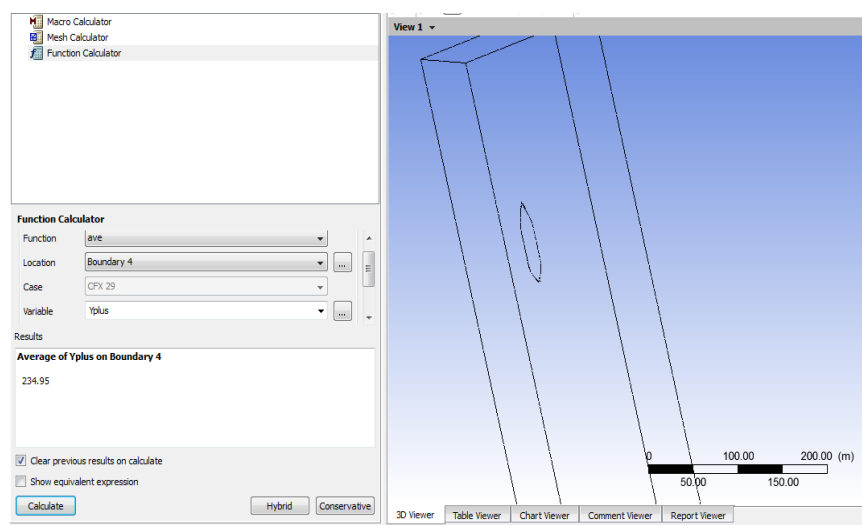
wall). Ketika aliran sangat dekat dengan dinding, *viscous damping* dapat mengurangi fluktuasi kecepatan tangensial. Sedangkan bagian terluar dari dinding ini, turbulensi akan semakin bertambah oleh adanya *turbulence kinetic energy* (Yu Ding, 2015). Sehingga ketika aliran sangat dekat dengan dinding (permukaan model), Re pada daerah tersebut akan menjadi sangat rendah dan bahkan besar kemungkinan akan menjadi aliran laminar. Namun, dalam CFD simulasi aliran akan diasumsikan 100% turbulen.

Berdasarkan pemaparan di atas, pembuatan inflation layer mesh bertujuan untuk memenuhi atau untuk mendapatkan nilai y^+ tertentu. Nilai y^+ merupakan nilai yang mengindikasikan bahwa mesh disekitar model sudah cukup baik. Umumnya nilai y^+ berkisar antara 10 sampai 300, sedangkan dalam tugas akhir ini di ambil nilai y^+ berada disekitar nilai 10 sampai 300 ($10 < y^+ < 300$).

Tabel 4. 7. Nilai y^+ pada Model Kapal

<i>Froude Number</i>	<i>yplus</i>		
	<i>Smooth hull</i>	<i>Regular Roughness</i>	<i>Irregular Roughness</i>
0,107	190	220	235
0,215	234	293	323

Adapun untuk mendapatkan nilai *yplus* pada tsbel 4.7 diatas didapatkan dari hasil *running* seperti gambar 4.11 dibawah ini.



Gambar 4. 11 Nilai y^+ pada Ansy CFX

4.4.8. Koreksi Penggunaan Kekasaran pada Kapal dengan C_f

Koreksi penggunaan kekasaran, dengan menggunakan reguler *roughness* atau irregular *roughness* dilakukan dengan cara membandingkan besar nilai C_f yang dikarenakan oleh pertumbuhan *marine fouling*. Besar nilai C_f pada lambung kapal dari rumus empiris dibandingkan dengan nilai C_f yang didapat dari pemodelan dengan ansys CFX. Berikut ini formula C_f pada kondisi smooth, dengan kekasaran merata dan kekasaran tidak merata.

Menurut ITTC persamaan C_f dalam kondisi kapal tanpa kekasaran sebagai berikut:

$$C_f = (0,075) / (\log (Re - 2))^2$$

Besar nilai koefisien gesek C_f untuk model reguler *roughness* digunakan rumus empiris (Prandtl & Schlichting, 1934) untuk koefisien gesekan akibat kekasaran butiran pasir:

$$C_f = [(1,894 + 1,62 \log (l/k_s))^{-2.5}]$$

Dengan menggunakan formula diatas selanjutnya ditentukan nilai C_f masing-masing pada saat kondisi kecepatan dinas, adapun perhitungan ada pada lampiran d. Dengan hasil nilai C_f sebagai berikut:

Tabel 4. 8. Nilai C_f pada Lambung Kapal

Hull	Fr	V	C_f	Prosentase (model-empiris)
Smooth	0,215	6,13	0,000977	1%
Reguler	0,215	6,13	0,004891	5%
Ireguler	0,215	6,13	0,005035	8%
ITTC	0,215	6,13	0,000967	-
Schlichting (Roughness)	0,215	6,13	0,004655	-

Dari nilai C_f pada tabel 4.9 presentase perbedaanya tidak cukup jauh, sehingga dalam simulasi ini bisa digunakan kedua jenis diatas.

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Pendahuluan

Hasil dari *running* kapal *semi container* Caraka pada ansys CFX dibagi menjadi dua bagian. Bagian pertama adalah kapal yang tidak mempunyai kekasaran dan bagian kedua kapal yang mempunyai kekasaran pada lambung kapal. Pada masing-masing bagian mempunyai 2 variasi kecepatan, yaitu kecepatan 6 knot dan 12 knot. Adapun untuk gambar hasil *running* ada dilampiran e.

5.2 Hasil Running Kapal Semi Container Caraka pada Lambung Tanpa Kekasaran

Dalam *running* ansys CFX ini badan kapal disimulasikan tidak mempunyai kekasaran atau tinggi kekasaran (k_s) sama dengan nol. Simulasi ini menunjukkan bahwa kapal tidak ditumbuhi oleh *marine fouling*. Pada permukaan lambung yang tidak ditumbuhi oleh *marine fouling*, besar nilai tegangan geser permukaan berbeda dengan permukaan yang kasar. Sebagaimana yang telah kita ketahui bahwa besar nilai dari tegangan geser dinding pada permukaan Schlichting (1979) dalam subbab 2.6. yaitu

$$\tau_w = \frac{c_f \cdot \rho \cdot u^2}{2}$$

Perbedaan nilai tegangan geser ini tentunya bukan dikarenakan oleh perbedaan formula dari τ_w , akan tetapi perbedaan disebabkan oleh variabel lain yang menjadi bagian dari formula τ_w yaitu nilai c_f . Selain itu dalam penelitian ini yang menjadi kriteria utama adalah nilai turbulensi, yang mana hal ini sangat berkaitan dengan aliran u^+ . Adapun besar nilai u^+ dalam *law of wall* (Schlichting, 1968; White, 1991) adalah :

$$u^+ = 1/k \ln y^+ + B$$

dimana konstanta von karman (k) = 0.41 dan konstanta integrasi B = 5.0 sampai 5.4 (Schlichting, 1968) yang bernilai konstan. Persamaan formula diatas menjadi dasar perhitungan dalam *matematic model* yang berada pada *software* ansys CFX. Dengan menggunakan formula matematic diatas hasil *running* pada ansys CFX yang menggunakan 2 variasi kecepatan yaitu 6 knot dan 12 knot dapat diketahui dalam tabel 5.1 dan 5.2 dibawah ini.

Tabel 5. 1 Nilai Kecepatan Aliran Potensial (U_e), Tekanan (P), Tegangan Geser (τ_w) dan Energi Kinetik Turbulen (k) Kapal Caraka pada Ketinggian 1.5 – 3 meter (12 knot).

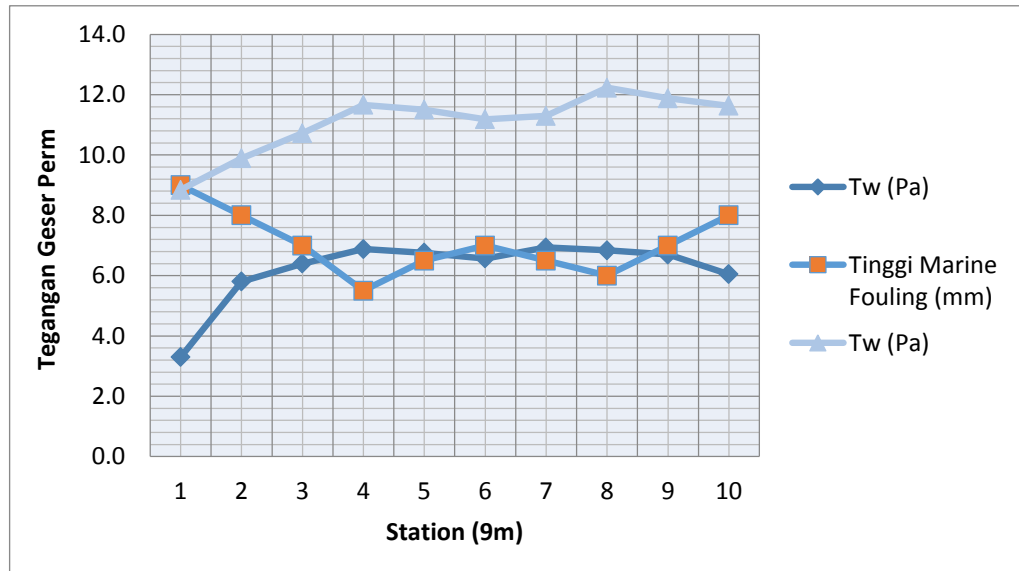
<i>Station</i>	τ_w (Pa)	P (Pa)	U_e (m/s)	Energi Kinetik Turbulen (J/m^2)
1	8,8463	2,6720	5,294	0,0089
2	9,8899	0,6054	5,721	0,0099
3	10,7255	-1,5953	6,113	0,0108
4	11,6644	-2,8636	6,443	0,0117
5	11,5064	-2,1818	6,372	0,0115
6	11,1849	-1,3813	6,215	0,0112
7	11,2966	-2,6526	6,222	0,0113
8	12,2317	-2,5625	5,805	0,0123
9	11,8830	-1,6360	5,421	0,0119
10	11,6345	2,4245	4,313	0,0117

Tabel 5. 2 Nilai Kecepatan Aliran Potensial (U_e), Tekanan (P), Tegangan Geser (τ_w) dan Energi Kinetik Turbulen (k) Kapal Caraka pada Ketinggian 1.5 – 3 meter (6 knot).

<i>Station</i>	τ_w (Pa)	P (Pa)	U_e (m/s)	Energi Kinetik Turbulen (J/m^2)
1	3,30062	0,667	2,65448	0,003311
2	5,80446	0,150	2,85722	0,0058
3	6,39978	-0,400	3,0437	0,006419
4	6,88265	-0,716	3,20439	0,006903
5	6,76106	-0,545	3,1601	0,006781
6	6,56591	-0,345	3,0856	0,006586
7	6,93568	-0,662	3,16671	0,006957
8	6,83992	-0,634	3,05987	0,006861
9	6,69891	-0,399	2,8819	0,006719
10	6,04632	0,605	2,50268	0,006065

Pada kedua tabel 5.1 dan 5.2 memaparkan besar nilai tegangan geser permukaan, tekanan, kecepatan aliran potensial dan energi kinetik turbulen pada bagian bawah (1.5 sampai 3 meter dari *bottom*) pada lambung kapal. Hasil diatas menunjukkan bahwa terdapat nilai karakteristik hidrodinamik dengan pola kecenderungan yang berbeda antar *station* satu dengan *station* yang lain. Selanjutnya, untuk mengetahui keterkaitan antara karekteristik hidrodinamika terhadap pertumbuhan *marine fouling* maka dilakukan studi kecocokan antara

pola kecenderungan pertumbuhan *marine fouling* terhadap pola karakteristik hidrodinamis yang meliputi tegangan geser, kecepatan aliran potensial dan energi kinetik turbulen. Pola kecenderungan tegangan geser permukaan akan dipaparkan dalam gambar 5.1 dibawah ini.



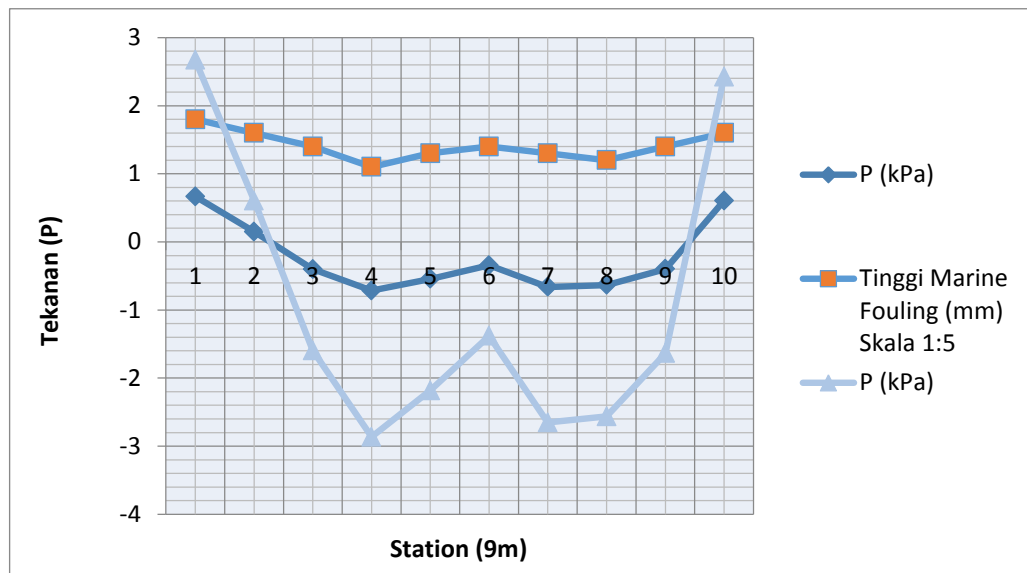
Gambar 5. 1 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan *Marine Fouling* Terhadap Tegangan Geser

Pada gambar 5.1 menunjukkan bahwa terdapat kemiripan pola kecenderungan pertumbuhan *marine fouling* terhadap tegangan geser permukaan hidrostatik pada lambung kapal. Bentuk pola kecenderungan antara variabel tegangan geser dan pertumbuhan *marine fouling* ini secara umum menunjukkan bahwa adanya bentuk pola yang berlawanan antar keduanya. Pada bagian depan dari lambung kapal, nilai tegangan geser permukaan mengalami kenaikan yaitu pada bagian 1, 2, 3 dan 4 dengan besar nilai tegangan geser permukaan 3.3 Pa, 5.8 Pa, 6.4 Pa dan 6.9 Pa untuk kecepatan 6 knot dan 8.8 Pa, 9.9 Pa, 10.7 Pa dan 11.7 Pa untuk kecepatan 12 knot. Berbanding terbalik dengan pertumbuhan yang dialami oleh *marine fouling*, pertumbuhan *marine fouling* mengalami penurunan dari bagian 1 sampai bagian 4, yaitu 9 mm, 8 mm, 7 mm dan 5.5mm.

Pada bagian selanjutnya bentuk pola karakteristik tegangan geser permukaan membentuk pola seperti lembah yakni pada bagian 5, 6 dan 7 (11.5 Pa, 11.2 Pa dan 11.3 Pa) untuk kecepatan 12 knot dan (6.8 Pa, 6.6 Pa dan 6.9 Pa) untuk kecepatan 6 knot, hal ini juga berbanding terbalik dengan pola pertumbuhan pada *marine fouling* yang membentuk pola seperti bukit pada bagian 5, 6 dan 7 (6.5 mm, 7 mm dan 6.5 mm). Pada station 8 sampai 10 bentuk pola kecenderungan antara tegangan geser permukaan dengan pertumbuhan *marine fouling* membentuk pola yang berlawanan, dimana pada station 8, 9 dan 10 (12.2 Pa, 11.9 Pa

dan 11.6 Pa) untuk kecepatan 12 knot dan 8, 9 dan 10 (6.8 Pa, 6.7 Pa dan 6.0 Pa) untuk kecepatan 6 knot tegangan geser permukaan mengalami penurunan, sedangkan pada *marine fouling* pada station 8, 9 dan 10 (6 mm, 7 mm dan 8 mm), pertumbuhan *marine fouling* mengalami peningkatan. Dari pemaparan diatas menggambarkan bahwa semakin besar nilai tegangan geser permukaan maka semakin rendah pertumbuhan *marine fouling*. Sebagaimana yang telah dijelaskan oleh Pascual (1992) bahwa terhambatnya pertumbuhan *marine fouling* pada lambung kapal diatas disebabkan terganggunya proses penempelan *marine fouling* dan sistem penyaringan untuk mendapatkan makan yang diakibatkan oleh tegangan geser pada lambung kapal.

Pada karakteristik yang lain yaitu tekanan aliran, hubungan pola kecenderungan tekanan aliran terhadap pertumbuhan *marine fouling* akan digambarkan dalam gambar 5.2 dibawah ini.

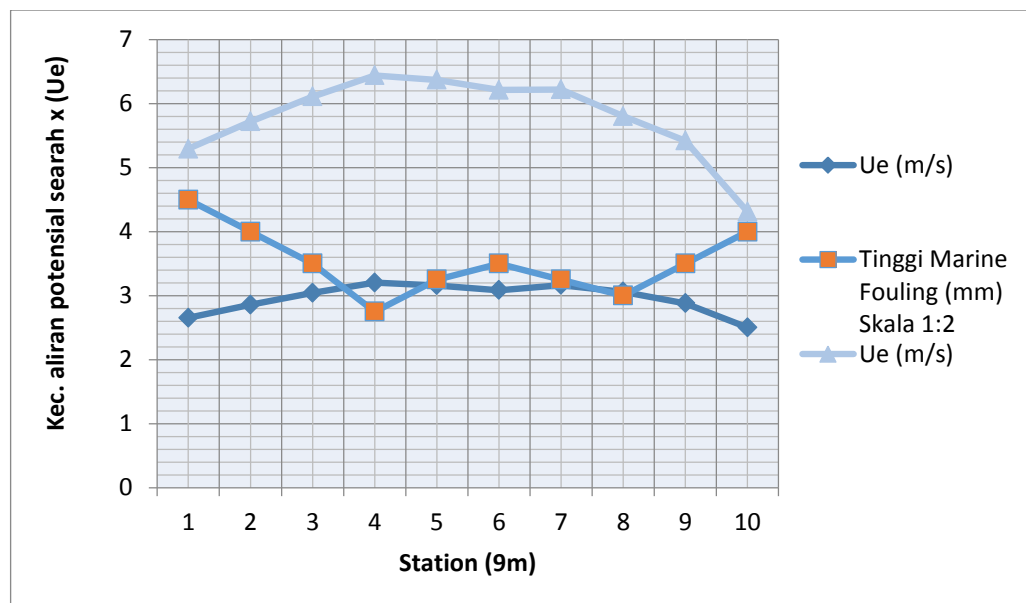


Gambar 5. 2 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan *Marine Fouling* Terhadap Tekanan

Pada gambar 5.2 menunjukkan bahwa terdapat kemiripan pola kecenderungan pertumbuhan *marine fouling* terhadap tekanan pada lambung kapal. Bentuk pola kecenderungan antara variabel tekanan dan pertumbuhan *marine fouling* menunjukkan bahwa adanya bentuk pola yang sama. Pada bagian depan dari lambung kapal nilai tekanan mengalami penurunan yaitu pada bagian 1, 2, 3 dan 4 dengan besar nilai tegangan geser permukaan 2.7 kPa, 0.6 kPa, -1.6 kPa dan -2.9 kPa untuk kecepatan 12 knot dan 0.7 kPa, 0.2 kPa, -0.4 kPa dan -0.7 kPa untuk kecepatan 6 knot. Berbanding lurus dengan pertumbuhan yang dialami oleh *marine fouling*, pertumbuhan *marine fouling* mengalami penurunan dari bagian 1 sampai bagian 4, yaitu 9 mm, 8 mm, 7 mm dan 5.5 mm.

Pada bagian selanjutnya bentuk pola karakteristik tekanan membentuk pola seperti bukit yakni pada bagian 5, 6 dan 7 (-2.2 kPa, -1.4 kPa dan -2.7 kPa) untuk kecepatan 12 knot dan (-0.5 kPa, -0.3 kPa dan -0.7 kPa) untuk kecepatan 6 knot, hal ini juga berbanding lurus terhadap pola pertumbuhan *marine fouling* yang juga membentuk pola seperti bukit pada bagian 5, 6 dan 7 (6.5 mm, 7 mm dan 6.5 mm). Pada *station* 8 sampai 10 bentuk pola kecenderungan antara tegangan geser permukaan dengan pertumbuhan *marine fouling* membentuk pola yang sama dimana pada *station* 8, 9 dan 10 (-2.6 kPa, -1.6 kPa dan 2.4 kPa) untuk kecepatan 12 knot dan 8, 9 dan 10 (-0.6 kPa, -0.4 kPa dan 0.6 kPa) untuk kecepatan 6 knot tegangan geser permukaan mengalami kenaikan dan pada pertumbuhan *marine fouling* pada *station* 8, 9 dan 10 (6 mm, 7 mm dan 8 mm) juga mengalami peningkatan. Dari pemaparan diatas menggambarkan bahwa semakin besar nilai tekanan maka semakin cepat pertumbuhan *marine fouling*. Hal ini menjadi keuntungan untuk pertumbuhan *marine fouling* pada lambung kapal. Keuntungan ini dikarenakan tidak adanya pengaruh tekanan terhadap sistem penyaringan untuk mendapatkan makanan akan tetapi tekanan membantu dalam proses penempelan *marine fouling* pada lambung kapal.

Pada karakteristik hidrodinamik selanjutnya yaitu kecepatan aliran potensial, hubungan pola kecenderungan kecepatan aliran potensial terhadap *marine fouling* akan digambarkan dalam gambar 5.3 dibawah ini.

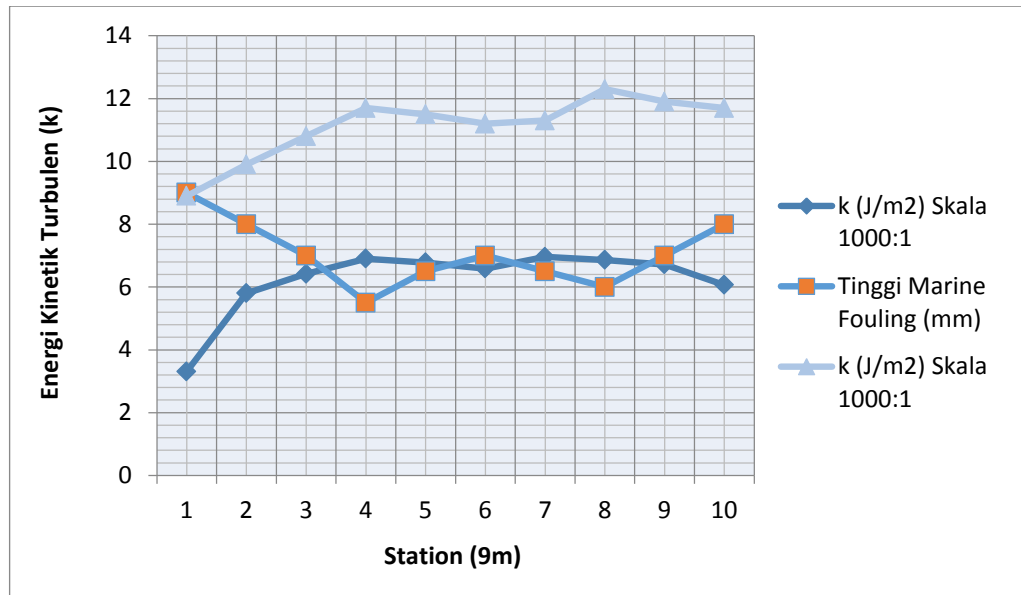


Gambar 5. 3 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan *Marine Fouling* Terhadap Kecepatan Aliran Potensial Potensial Searah Sumbu X

Pada gambar 5.3 menunjukkan bahwa terdapat kemiripan pola kecenderungan pertumbuhan *marine fouling* terhadap kecepatan kapal pada lambung kapal. Bentuk pola kecenderungan antara variabel kecepatan aliran potensial dan pertumbuhan *marine fouling* menunjukkan bahwa adanya bentuk pola yang berlawanan. Pada bagian depan dari lambung kapal nilai kecepatan aliran potensial mengalami kenaikan yaitu pada bagian 1, 2, 3 dan 4 dengan besar nilai kecepatan aliran potensial 5.03 m/s, 5.45 m/s, 5.83 m/s dan 6.148 m/s untuk kecepatan 12 knot dan 2.45 m/s, 2.67 m/s, 2.84 m/s dan 3.0 m/s untuk kecepatan 6 knot. Berbanding terbalik dengan pertumbuhan yang dialami oleh *marine fouling*, pertumbuhan *marine fouling* mengalami penurunan dari bagian 1 sampai bagian 4, yaitu 9 mm, 8 mm, 7 mm dan 5.5 mm.

Pada bagian selanjutnya bentuk pola karakteristik kecepatan aliran potensial membentuk pola seperti lembah yakni pada bagian 5, 6 dan 7 (6.078 m/s, 5.946 m/s dan 6.110 m/s) untuk kecepatan 12 knot dan (2.96 m/s, 2.88 m/s dan 2.97 m/s) untuk kecepatan 6 knot, hal ini berbanding terbalik dengan pola pertumbuhan pada *marine fouling* yang membentuk pola seperti bukit pada bagian 5, 6 dan 7 (6.5 mm, 7 mm dan 6.5 mm). Pada station 8 sampai 10 bentuk pola kecenderungan antara kecepatan aliran potensial dengan pertumbuhan *marine fouling* membentuk pola yang berlawanan, dimana pada station 8, 9 dan 10 (2.86 m/s, 2.68 m/s dan 2.30 m/s) untuk kecepatan 6 knot dan (5.9 m/s, 5.57 m/s dan 4.8 m/s) untuk kecepatan 12 knot kecepatan aliran potensial mengalami penurunan sedangkan pada *marine fouling* pada station 8, 9 dan 10 (6 mm, 7 mm dan 8 mm) pertumbuhan *marine fouling* mengalami peningkatan. Dari pemaparan diatas menggambarkan bahwa semakin besar nilai kecepatan aliran potensial maka semakin rendah pertumbuhan *marine fouling*. Sebagaimana yang telah dijelaskan oleh Pascual (1992) terhambatnya pertumbuhan *marine fouling* pada lambung kapal diatas dikarenakan terganggunya proses penempelan *marine fouling* dan sistem penyaringan untuk mendapatkan makan yang diakibatkan oleh kecepatan aliran potensial pada lambung kapal.

Pada karakteristik selanjutnya yaitu hubungan energi kinetik turbulen yang menjadi parameter utama besarnya tingkat turbulensi terhadap pola kecenderungan pertumbuhan *marine fouling* akan digambarkan dalam gambar 5.4 dibawah ini.



Gambar 5. 4 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan *Marine Fouling* Terhadap Energi Kinetik Turbulen

Pada gambar 5.4 menunjukkan bahwa terdapat kemiripan pola kecenderungan pertumbuhan *marine fouling* terhadap energi kinetik turbulen aliran pada lambung kapal. Bentuk pola kecenderungan antara variabel energi kinetik turbulen aliran dan pertumbuhan *marine fouling* menunjukkan bahwa adanya bentuk pola yang berlawanan. Pada bagian depan dari lambung kapal nilai turbulensi aliran mengalami kenaikan yaitu pada bagian 1, 2, 3 dan 4 dengan besar turbulensi aliran 0.003, 0.005, 0.006 dan 0.007 untuk kecepatan 6 knot dan 0.009 J/m², 0.010 J/m², 0.011 J/m² dan 0.012 J/m² untuk kecepatan 12 knot. Berbanding terbalik dengan pertumbuhan yang dialami oleh *marine fouling*, pertumbuhan *marine fouling* mengalami penurunan dari bagian 1 sampai bagian 4, yaitu 9 mm, 8 mm, 7 mm dan 5.5 mm.

Pada bagian selanjutnya bentuk pola karakteristik energi kinetik turbulen aliran membentuk pola seperti lembah yakni pada bagian 5, 6 dan 7 (0.0115 J/m², 0.0112 J/m² dan 0.0113 J/m²) untuk kecepatan 12 knot dan (0.0068 J/m², 0.0066 J/m² dan 0.007 J/m²) untuk kecepatan 6 knot, hal ini berbanding terbalik dengan pola pertumbuhan pada *marine fouling* yang membentuk pola seperti bukit pada bagian 5, 6 dan 7 (6.5 mm, 7 mm dan 6.5 mm). Pada station 8 sampai 10 bentuk pola kecenderungan antara energi kinetik turbulen dengan pertumbuhan *marine fouling* membentuk pola yang berlawanan, dimana pada station 8, 9 dan 10 (0.0068 J/m², 0.0067 J/m² dan 0.006 J/m²) untuk kecepatan 6 knot dan (0.0123 J/m², 0.0119 J/m² dan 0.0117 J/m²) untuk kecepatan 12 knot energi kinetik turbulen aliran mengalami penurunan sedangkan pada *marine fouling* pada station 8, 9 dan 10 (6 mm, 7 mm dan 8 mm) pertumbuhan *marine fouling* mengalami peningkatan. Dari pemaparan

diatas menggambarkan bahwa semakin besar nilai energi kinetik turbulen aliran maka semakin rendah pertumbuhan *marine fouling*. Sebagaimana yang telah dijelaskan oleh Pascual (1992) terhambatnya pertumbuhan *marine fouling* pada lambung kapal diatas disebabkan terganggunya proses penempelan *marine fouling* dan sistem penyaringan untuk mendapatkan makan yang diakibatkan oleh energi kinetik turbulen aliran pada lambung kapal.

Pada keempat grafik diatas menjelaskan bahwa pada lambung kapal yang dalam kondisi *smooth* dengan ketinggian antara 1.5 sampai 3 meter mempunyai karakteristik lapisan batas (tekanan, tegangan geser permukaan, kecepatan aliran potensial dan energi kinetik turbulen) yang mempengaruhi pertumbuhan *marine fouling*. Dimana tekanan memberikan pengaruh positif terhadap pertumbuhan *marine fouling* sedangkan tegangan permukaan, kecepatan aliran potensial dan energi kinetik turbulen memberikan pengaruh negatif (menghambat) pada pertumbuhan *marine fouling* pada lambung kapal.

Pada pembahasan selanjutnya akan dipaparkan terkait dengan hasil dari pola kecenderungan karakteristik lapisan batas pada dinding atas (3 meter sampai 4.5 meter) dengan kecepatan yang sama antara 6 dan 12 knot. Hasil dipaparkan dalam tabel 5.3 dan 5.4 dibawah ini

Tabel 5. 3 Nilai Kecepatan Aliran Potensial (U_e), Tekanan (P) , Tegangan Geser (τ_w) dan Energi Kinetik Turbulen (k) Kapal pada Caraka Ketinggian 3 – 4.5 meter (12 knot)

<i>Station</i>	τ_w (Pa)	P (Pa)	U_e (m/s)	Energi Kinetik Turbulen (J/m^2)
1	4,712	3,818	4,861	0,0047262
2	8,021	1,903	5,240	0,0080451
3	9,455	-0,978	5,718	0,0094832
4	12,279	-3,461	6,240	0,0123156
5	12,043	-1,887	6,006	0,0120793
6	11,795	-1,354	5,901	0,0118304
7	11,845	-2,105	6,004	0,0118805
8	11,884	-3,153	6,020	0,0119197
9	11,707	-0,816	5,439	0,0117417
10	11,667	3,670	4,524	0,0117016

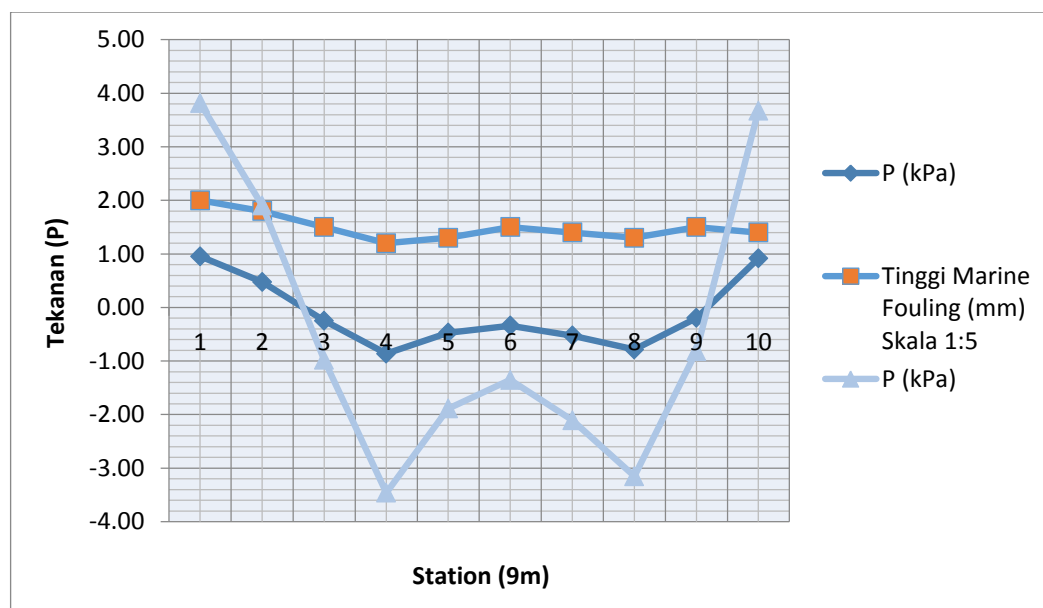
Tabel 5. 4 Nilai Kecepatan Aliran Potensial (Ue), Tekanan (P), Tegangan Geser (τ_w) dan Energi Kinetik Turbulen (k) Kapal Caraka Ketinggian 3 – 4.5 meter (6 knot).

<i>Station</i>	τ_w (Pa)	P (Pa)	Ue (m/s)	Energi Kinetik Turbulen (J/m ²)
1	1,581	0,953	2,374	0,0015862
2	3,933	0,475	2,557	0,0039448
3	5,336	-0,246	2,792	0,0053522
4	6,767	-0,864	3,048	0,0067869
5	6,649	-0,471	2,919	0,0066694
6	6,594	-0,339	2,859	0,0066141
7	6,843	-0,526	2,908	0,0068634
8	6,947	-0,784	2,919	0,0069675
9	6,208	-0,196	2,721	0,0062262
10	5,092	0,915	2,621	0,0051075

Pada kedua tabel 5.3 dan 5.4 diatas memaparkan besar nilai tegangan geser permukaan, tekanan, kecepatan aliran potensial dan energi konetik turbulen pada bagian atas (3 sampai 4.5 meter dari *bottom*) pada lambung kapal. Hasil diatas menunjukkan bahwa terdapat nilai dengan pola kecenderungan yang sama antar *station* satu dengan *station* yang lain. Sebagaimana yang telah dijelaskan pada awal sub bab 5.2 diatas, dalam penelitian ini keterkaitan antara karakteristik hidrodinamika terhadap pertumbuhan *marine fouling* dapat diketahui dengan melakukan studi kecocokan antara pola kecenderungan pertumbuhan *marine fouling* terhadap pola karakteristik hidrodinamis yang meliputi tekanan, tegangan geser permukaan, kecepatan aliran potensial dan energi konetik turbulen pada lambung yang mendekati permukaan air. Pola kecenderungan tegangan geser permukaan pada bagian atas akan dipaparkan dalam gambar 5.5 dibawah ini.

umum mengalami peningkatan, meskipun pada bagian *station* 10 sedikit mengalami penurunan. Dari pemaparan diatas menggambarkan bahwa semakin besar nilai tegangan geser permukaan maka semakin rendah pertumbuhan *marine fouling*. Sebagaimana yang telah dijelaskan oleh Pascual (1992) terhambatnya pertumbuhan *marine fouling* pada lambung kapal diatas disebabkan terganggunya proses penempelan *marine fouling* dan sistem penyaringan untuk mendapatkan makan yang diakibatkan oleh tegangan geser pada lambung kapal.

Pada karakteristik yang lain yaitu tekanan aliran, hubungan pola kecenderungan terhadap *marine fouling* akan digambarkan dalam gambar 5.6 dibawah ini.



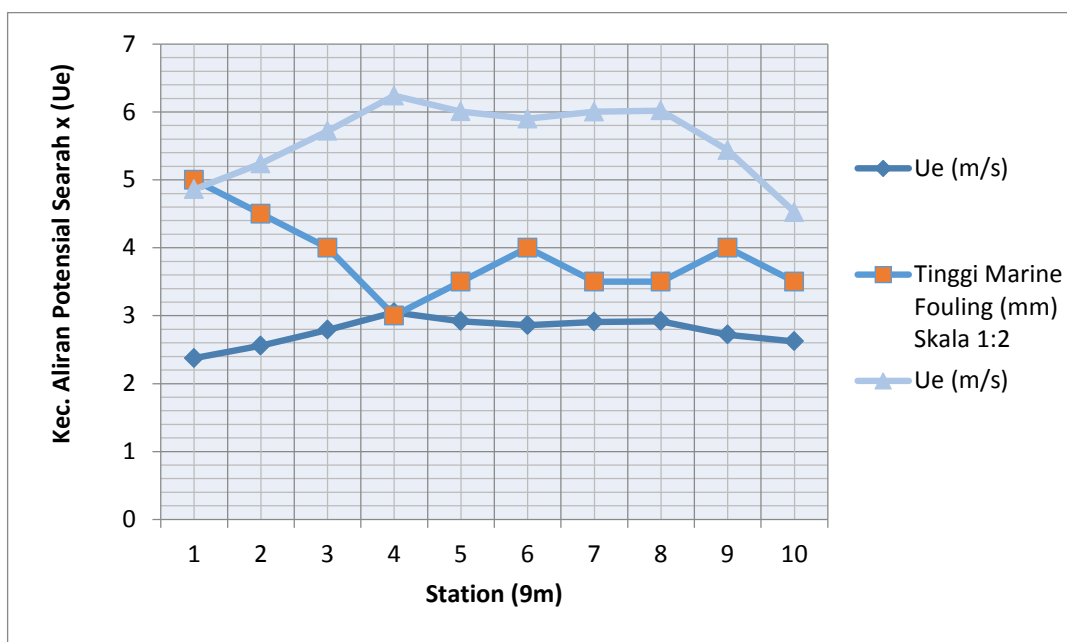
Gambar 5. 6 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan *Marine Fouling* Terhadap Tekanan

Pada gambar 5.6 menunjukkan bahwa terdapat kemiripan pola kecenderungan pertumbuhan *marine fouling* terhadap tekanan aliran pada lambung kapal. Bentuk pola kecenderungan antara variabel tekanan dan pertumbuhan *marine fouling* menunjukkan bahwa adanya bentuk pola yang sama. Pada bagian depan dari lambung kapal nilai tekanannya mengalami penurunan yaitu pada bagian 1, 2, 3 dan 4 dengan besar nilai tegangan geser permukaan 3.8 kPa, 1.9 kPa, -1 kPa dan -3.5 kPa untuk kecepatan 12 knot dan 0.95 kPa, 0.5 kPa, -0.25 kPa dan -0.86 kPa untuk kecepatan 6 knot. Berbanding lurus dengan pertumbuhan yang dialami oleh *marine fouling*, pertumbuhan *marine fouling* mengalami penurunan dari bagian 1 sampai bagian 4, yaitu 10 mm, 9 mm, 8 mm dan 6 mm.

Pada bagian selanjutnya bentuk pola karakteristik tegangan geser permukaan membentuk pola seperti bukit yakni pada bagian 5, 6 dan 7 (-1.8 kPa, -1.35 kPa dan -2 kPa)

untuk kecepatan 12 knot dan (-0.47 kPa, -0.34 kPa dan -0.53 kPa) untuk kecepatan 6 knot, hal ini berbanding lurus dengan pola pertumbuhan pada *marine fouling* yang juga membentuk pola seperti bukit pada bagian 5, 6 dan 7 (7 mm, 8 mm dan 7 mm). Pada *station* 8 sampai 10 bentuk pola kecenderungan antara tegangan geser permukaan dengan pertumbuhan *marine fouling* membentuk pola yang sama dimana pada *station* 8, 9 dan 10 (-3.1 kPa, -0.8 kPa dan 3.7 kPa) untuk kecepatan 12 knot dan 8, 9 dan 10 (-0.78 kPa, -0.2 kPa dan 0.9 kPa) untuk kecepatan 6 knot tegangan geser permukaan mengalami kenaikan dan pada pertumbuhan *marine fouling* pada *station* 8, 9 dan 10 (7 mm, 8 mm dan 7 mm) juga mengalami peningkatan, meskipun pada bagian *station* 10 pertumbuhan *marine fouling* sedikit mengalami penurunan. Dari pemaparan diatas menggambarkan bahwa semakin besar nilai tekanan maka semakin rendah pertumbuhan *marine fouling*. Hal ini menjadikan keuntungan untuk pertumbuhan *marine fouling* pada lambung kapal diatas disebabkan tekanan tidak mengganggu proses penempelan *marine fouling* akan tetapi membantu sistem penyaringan untuk mendapatkan makanan.

Pada karakteristik yang lain yaitu kecepatan aliran potensial, hubungan pola kecenderungannya terhadap *marine fouling* akan digambarkan dalam gambar 5.7 dibawah ini.



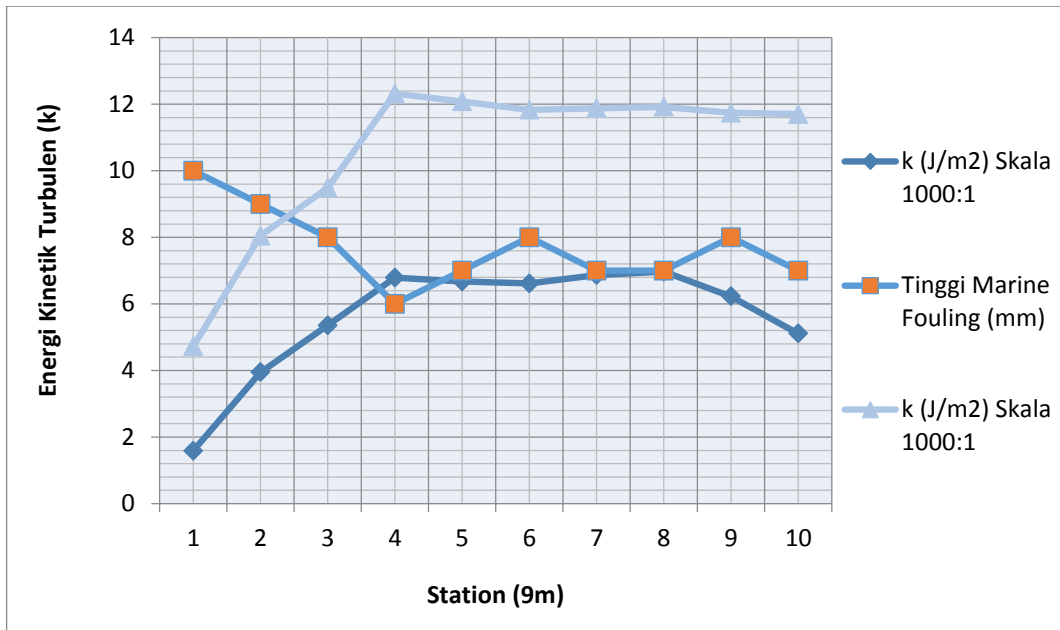
Gambar 5. 7 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan *Marine Fouling* Terhadap Kecepatan Aliran Potensial Searah X

Pada gambar 5.7 menunjukkan bahwa terdapat kemiripan pola kecenderungan pertumbuhan *marine fouling* terhadap kecepatan aliran potensial pada lambung kapal. Bentuk pola kecenderungan antara variabel kecepatan aliran potensial dan pertumbuhan *marine*

fouling menunjukkan bahwa adanya bentuk pola yang berlawanan. Pada bagian depan dari lambung kapal nilai kecepatan aliran potensial mengalami kenaikan yaitu pada bagian 1, 2, 3 dan 4 dengan besar nilai kecepatan aliran potensial 4.861 m/s, 5.24 m/s, 5.72 m/s dan 6.24 m/s untuk kecepatan 12 knot dan 2.37 m/s, 2.55 m/s, 2.79 m/s dan 3.05 m/s untuk kecepatan 6 knot. Berbanding terbalik dengan pertumbuhan yang dialami oleh *marine fouling*, pertumbuhan *marine fouling* mengalami penurunan dari bagian 1 sampai bagian 4, yaitu 10 mm, 9 mm, 8 mm dan 6 mm.

Pada bagian selanjutnya bentuk pola karakteristik kecepatan aliran potensial membentuk pola seperti lembah yakni pada bagian 5, 6 dan 7 (2.92 m/s, 2.86 m/s dan 2.9 m/s) untuk kecepatan 6 knot dan (6.0 m/s, 5.9 m/s dan 6.0 m/s) untuk kecepatan 12 knot, meskipun pada *station* 6 kecepatan 6 knot kecepatan aliran potensial nya sedikit menurun, hal ini berbanding terbalik dengan pola pertumbuhan pada *marine fouling* yang membentuk pola seperti bukit pada bagian 5, 6 dan 7 (7 mm, 8 mm dan 7 mm). Pada *station* 8 sampai 10 bentuk pola kecenderungan antara kecepatan aliran potensial dengan pertumbuhan *marine fouling* membentuk pola yang berlawanan, dimana pada *station* 8, 9 dan 10 (2.919 m/s, 2.7 m/s dan 2.6 m/s) untuk kecepatan 6 knot dan (6.02 m/s, 5.43 m/s dan 4.52 m/s) untuk kecepatan 12 knot kecepatan aliran potensial mengalami penurunan sedangkan pada *marine fouling* pada *station* 8, 9 dan 10 (7 mm, 8 mm dan 7 mm) pertumbuhan *marine fouling* mengalami peningkatan, meskipun pada bagian *station* 10 pertumbuhan mengalami sedikit penurunan. Dari pemaparan diatas menggambarkan bahwa semakin besar nilai kecepatan aliran potensial maka semakin rendah pertumbuhan *marine fouling*. Sebagaimana yang telah dijelaskan oleh Pascual (1992) terhambatnya pertumbuhan *marine fouling* pada lambung kapal diatas disebabkan terganggunya proses penempelan *marine fouling* dan sistem penyaringan untuk mendapatkan makan yang diakibatkan oleh kecepatan aliran potensial pada lambung kapal.

Pada karakteristik selanjutnya yaitu energi kinetik turbulen, hubungan pola kecenderungannya terhadap *marine fouling* akan digambarkan dalam gambar 5.3 dibawah ini.



Gambar 5. 8 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan *Marine Fouling* Terhadap Energi Kinetik Turbulen

Pada gambar 5.8 menunjukkan bahwa terdapat kemiripan pola kecenderungan pertumbuhan *marine fouling* terhadap energi kinetik turbulen aliran pada lambung kapal. Bentuk pola kecenderungan antara variabel energi kinetik turbulen aliran dan pertumbuhan *marine fouling* menunjukkan bahwa adanya bentuk pola yang berlawanan. Pada bagian depan dari lambung kapal nilai energi kinetik turbulen aliran mengalami penurunan yaitu pada bagian 1, 2, 3 dan 4 dengan besar turbulensi aliran 0.0016 J/m^2 , 0.0039 J/m^2 , 0.0054 J/m^2 dan 0.0068 J/m^2 untuk kecepatan 6 knot dan 0.005 J/m^2 , 0.008 J/m^2 , 0.010 J/m^2 dan 0.012 J/m^2 untuk kecepatan 12 knot. Berbanding terbalik dengan pertumbuhan yang dialami oleh *marine fouling*, pertumbuhan *marine fouling* mengalami penurunan dari bagian 1 sampai bagian 4, yaitu 10 mm, 9 mm, 8 mm dan 6 mm.

Pada bagian selanjutnya bentuk pola karakteristik energi kinetik turbulen aliran membentuk pola seperti lembah yakni pada bagian 5, 6 dan 7 (0.0067 J/m^2 , 0.0066 J/m^2 dan 0.0069 J/m^2) untuk kecepatan 6 knot dan (0.012 J/m^2 , 0.0118 J/m^2 dan 0.0119 J/m^2) untuk kecepatan 12 knot, hal ini berbanding terbalik dengan pola pertumbuhan pada *marine fouling* yang membentuk pola seperti bukit pada bagian 5, 6 dan 7 (7 mm, 8 mm dan 7 mm). Pada station 8 sampai 10 bentuk pola kecenderungan antara energi kinetik turbulen dengan pertumbuhan *marine fouling* membentuk pola yang berlawanan, dimana pada station 8, 9 dan 10 (0.0070 J/m^2 , 0.0062 J/m^2 dan 0.0051 J/m^2) untuk kecepatan 6 knot dan (0.0119 J/m^2 , 0.0117 J/m^2 dan 0.0117 J/m^2) untuk kecepatan 12 knot energi kinetik turbulen aliran

mengalami penurunan sedangkan pada *marine fouling* pada *station* 8, 9 dan 10 (7 mm, 8 mm dan 7 mm) pertumbuhan *marine fouling* mengalami peningkatan. Dari pemaparan diatas menggambarkan bahwa semakin besar nilai energi konetik turbulen aliran maka semakin rendah pertumbuhan *marine fouling*. Sebagaimana yang telah dijelaskan oleh Pascual (1992) terhambatnya pertumbuhan *marine fouling* pada lambung kapal diatas disebabkan terganggunya proses penempelan *marine fouling* dan sistem penyaringan untuk mendapatkan makan yang diakibatkan oleh turbulensi aliran pada lambung kapal.

Pada keempat grafik diatas menjelaskan bahwa pada lambung kapal dalam kondisi *smooth* dengan ketinggian antara 3 sampai 4.5 meter mempunyai karakteristik lapisan batas (tekanan, tegangan geser permukaan, kecepatan aliran potensial dan energi konetik turbulen) yang sama dengan karakteristik pada ketinggian 1.5 sampai 3 meter dimana semuanya sama-sama mempengaruhi pertumbuhan *marine fouling*. Hal ini menunjukkan bahwa pada lambung kapal mempunyai pengaruh terhadap pertumbuhan *marine fouling*, adapun dari untuk ketinggian kapal hanya memberikan pengaruh yang tidak terlalu signifikan.

Pascual (1992) menjelaskan bahwa organisme *marine fouling* dapat tumbuh optimal jika proses penyaringan zat-zat makanan berlangsung baik dan dibarengi dengan intensitas pencernaan yang tinggi. Dalam penelitian ini kedua bagian menjelaskan bahwa pada daerah pertemuan antara daerah depan dan daerah tengah lambung kapal merupakan daerah yang memiliki intensitas gangguan hidrodinamis yang maksimal. Pada daerah tersebut, organ penyaringan selalu dalam posisi condong kebelakang sebagai akibat dari terpaan arus air. Kecondongan organ penyaringan ini mengakibatkan luas penyaringan yang berhadapan dengan arus air (luas proyeksi) akan menurun, sehingga jumlah zat-zat makanan yang tersaring juga ikut menurun.

Intensitas energi konetik turbulen juga mengalami maksimum pada pertemuan antara daerah depan dan tengah lambung kapal. keberadaan turbulensi dengan intensitas tinggi pada daerah-daerah ini akan meningkatkan detak jantung (*heart brake rate*, HBR). Pada tahap selanjutnya, peningkatan HBR akan meningkatkan intensitas pencernaan dalam tubuh *marine fouling*. Namun demikian, karena peningkatan intensitas pencernaan yang tidak dibarengi dengan suplai zat makanan yang cukup, maka pertumbuhan organisme *marine fouling* pada daerah ini tetap rendah.

Pada daerah di sekitar ujung-ujung bidang lambung kapal merupakan daerah yang memiliki gangguan hidro dinamis cukup rendah. Pada daerah ini organ penyaringan berada dalam posisi yang relatif tegak, sehingga menyebabkan luas permukaan organ penyaringan yang berhadapan dengan arus air relatif lebih luas, sehingga jumlah zat-zat makan yang

tersaring juga relatif lebih banyak. Intensitas turbulensi mencapai minimum di daerah ujung-ujung bidang lambung kapal. meskipun intensitasnya relatif rendah, namun kondisi ini sudah cukup untuk meningkatkan kecepatan detak jantung (Pascual, C. 1992). Dengan adanya peningkatan HBR ini, maka proses metabolisme dalam tubuh organisme *marine fouling* akan meningkat pula. Peningkatan ini dibarengi dengan suplai zat-zat makanan secara cukup, sehingga tingkat pertumbuhan *marine fouling* pada daerah-daerah diatas relatif tinggi.

5.3 Hasil *Running* Kapal *Semi Container* Caraka pada Lambung dengan Kekasaran Merata

Dalam *running* ansys CFX ini badan kapal disimulasikan mempunyai kekasaran merata, dimana tinggi kekasaran (K_s) sama dengan 7 mm. Simulasi ini menunjukkan bahwa kapal telah ditumbuhi oleh *marine fouling* dengan ketinggian 7 mm. Pada permukaan lambung besar nilai tegangan geser permukaan berbeda dengan permukaan yang kasar. Sebagaimana yang telah kita ketahui bahwa besar nilai dari tegangan geser dinding pada permukaan dalam subbab 2.6. yaitu : Schlichting (1979)

$$\tau_w = \frac{C_f \cdot \rho \cdot u^2}{2}$$

Perbedaan nilai tegangan geser ini tentunya bukan dikarenakan oleh perbedaan formula dari τ_w , akan tetapi perbedaan disebabkan oleh variabel lain yang menjadi bagian dari formula τ_w yaitu nilai C_f . Selain itu dalam penelitian ini yang menjadi kriteria utama adalah nilai turbulensi, yang mana hal ini sangat berkaitan dengan aliran u^+ . Adapun besar nilai u^+ dalam law of wall (Cebecchi dan Bradshaw, 1977) adalah :

$$u^+ = 1/k \ln y^+ + B - \Delta B$$

dikarenakan nilai $K_s^+ > 90$, maka nilai ΔB termasuk dalam kekasaran penuh (Cebecchi dan Bradshaw, 1977), sehingga ΔB dicari menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\Delta B = 1/k \ln (k_s^+) - 3.3$$

Persamaan formula diatas menjadi dasar perhitungan dalam matematic model yang berada pada *software* ansys CFX dengan kakasaran *sand grain*. Dengan menggunakan formula matematic diatas hasil *running* pada ansys CFX yang menggunakan 2 variasi kecepatan yaitu 6 knot dan 12 knot dapat diketahui dalam tabel 5.5 dan 5.6 dibawah ini.

Tabel 5. 5 Nilai Kecepatan Aliran Potensial (U), Tekanan (P) , Tegangan Geser (T_w) Dan Energi Kinetik Turbulen (K) Kapal pada Caraka Ketinggian 1.5 – 3 meter (12 knot).

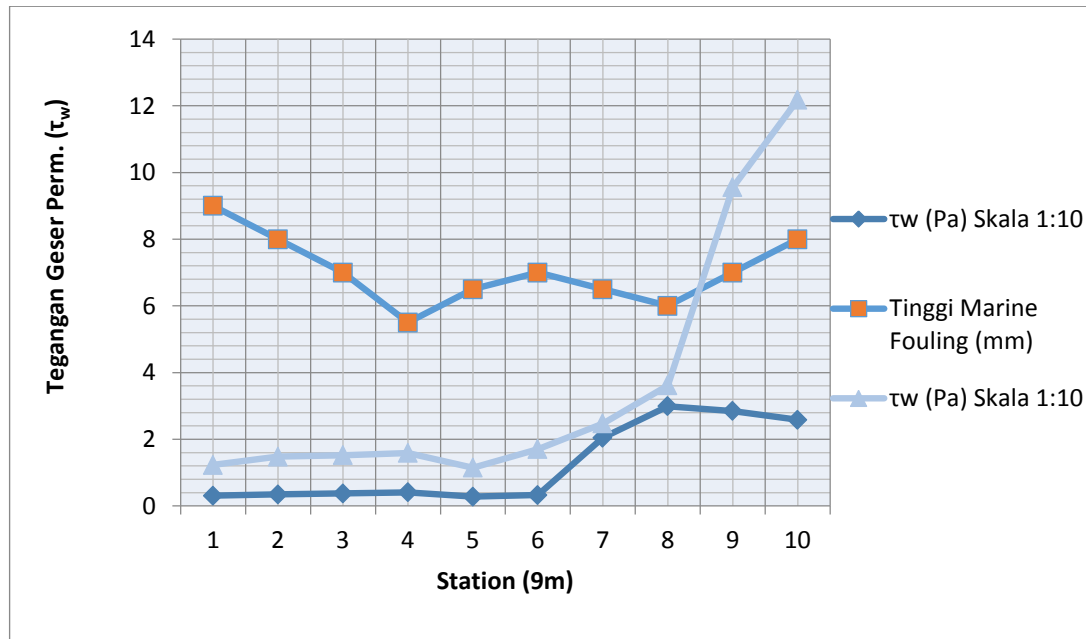
<i>Station</i>	τ_w (Pa)	P (Pa)	Ue (m/s)	Energi Kinetik Turbulen (J/m^2)
1	12,301	2,650	5,098	0,012338
2	14,755	0,585	5,504	0,014799
3	15,224	-1,614	5,904	0,015270
4	15,886	-2,877	6,231	0,015934
5	11,471	-2,182	6,144	0,011505
6	17,057	-1,380	5,968	0,017108
7	24,696	-2,653	6,113	0,024771
8	36,145	-2,513	5,907	0,036253
9	95,571	-1,540	5,452	0,095859
10	121,817	2,443	4,382	0,122184

Tabel 5. 6 Nilai Kecepatan Aliran Potensial (U), Tekanan (P) , Tegangan Geser (T_w) Dan Energi Kinetik Turbulen (K) Kapal Caraka pada Ketinggian 1.5 – 3 meter (6 knot).

<i>Station</i>	τ_w (Pa)	P (Pa)	Ue (m/s)	Energi Kinetik Turbulen (J/m^2)
1	3,074	0,625	2,431	0,00308
2	3,461	0,107	2,636	0,00347
3	3,713	-0,443	2,844	0,00372
4	4,075	-0,758	3,018	0,00409
5	2,783	-0,583	2,976	0,00279
6	3,248	-0,377	2,880	0,00326
7	20,445	-0,695	2,877	0,02051
8	29,903	-0,658	2,704	0,02999
9	28,460	-0,406	2,481	0,02855
10	25,832	0,585	1,897	0,02591

Pada kedua tabel 5.5 dan 5.6 telah dipaparkan besar nilai tegangan geser permukaan, tekanan, kecepatan aliran potensial dan energi kinetik turbulen pada bagian bawah (1.5 sampai 3 meter dari bottom) pada lambung kapal dengan kekasaran (lambung kapal telah ditumbuhi *marine fouling*). Hasil diatas menunjukkan bahwa terdapat nilai karakteristik hidrodinamik dengan pola kecenderungan yang berkaitan antar *station* satu dengan *station*

yang lain. Untuk mengetahui keterkaitan antara karakteristik hidrodinamika terhadap pertumbuhan *marine fouling* maka dilakukan studi kecocokan antara pola kecenderungan pertumbuhan *marine fouling* terhadap pola karakteristik hidrodinamis yang meliputi tegangan geser, kecepatan aliran potensial dan energi kinetik turbulen. Pola kecenderungan tegangan geser permukaan akan dipaparkan dalam gambar 5.9 dibawah ini.



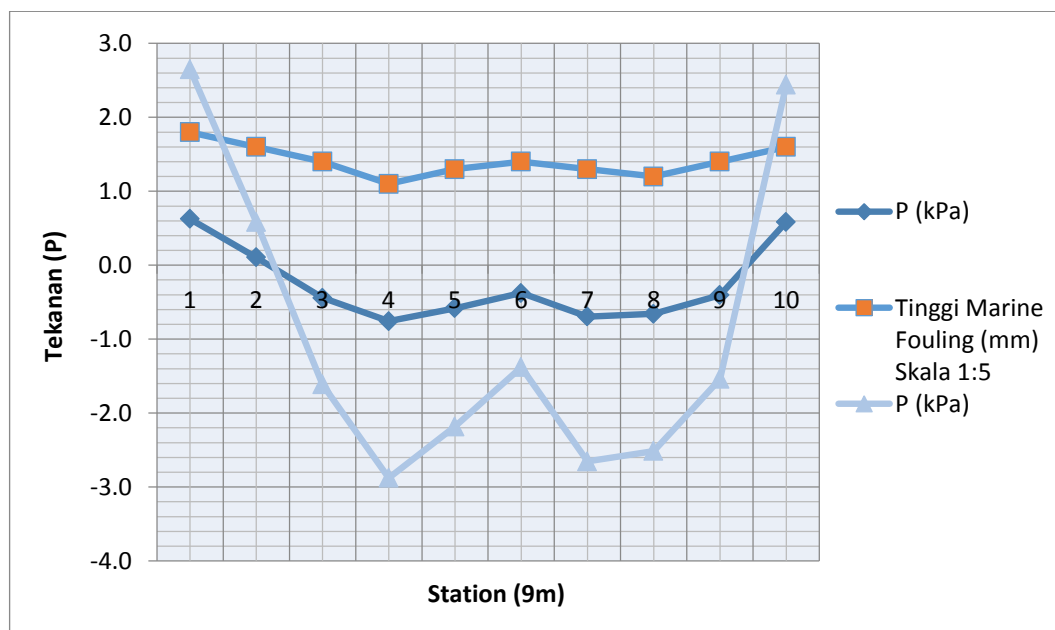
Gambar 5. 9 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan *Marine Fouling* Terhadap Tegangan Geser

Gambar 5.9 menunjukkan bahwa terdapat sedikit kemiripan pola kecenderungan pertumbuhan *marine fouling* terhadap tegangan geser permukaan hidrostatis pada lambung kapal. Pada bagian depan dari lambung kapal nilai tegangan geser permukaan mengalami sedikit kenaikan yaitu pada bagian 1, 2, 3 dan 4 dengan besar nilai tegangan geser permukaan 12.3 Pa, 14.8 Pa, 15.2 Pa dan 15.9 Pa untuk kecepatan 12 knot dan 3.07 Pa, 3.5 Pa, 3.7 Pa dan 4.1 Pa untuk kecepatan 6 knot. Berbanding terbalik dengan pertumbuhan yang dialami oleh *marine fouling*, dimana pertumbuhan *marine fouling* mengalami penurunan dari bagian 1 sampai bagian 4, yaitu 9 mm, 8 mm, 7 mm dan 5.5 mm.

Pada bagian selanjutnya bentuk pola karakteristik tegangan geser permukaan membentuk grafik kurva naik keatas yakni pada bagian 5, 6 7 dan 8 (11 Pa, 17 Pa, 24 Pa dan 36 Pa) untuk kecepatan 12 knot dan (2 Pa, 3 Pa, 20 Pa dan 29 Pa) untuk kecepatan 6 knot, hal ini secara umum berlawanan dengan pola pertumbuhan pada *marine fouling* yang mengalami penurunan pada *station* 6, 7 dan 8 (7 mm, 6.5 mm dan 6 mm), meskipun pada stasion 5 pertumbuhan *marine fouling* mengalami kenaikan. Pada *station* 9 dan 10, bentuk pola

kecenderungan tegangan geser permukaan untuk kecepatan 12 knot mengalami kenaikan (95 Pa dan 191 Pa) sama seperti pertumbuhan *marine fouling* yang juga mengalami kenaikan (7 mm dan 8 mm), sedangkan untuk kecepatan 6 knot tegangan geser mengalami penurunan (28 Pa dan 25 Pa). Dari pemaparan diatas menggambarkan bahwa pada kondisi kapal yang sudah ditumbuhi *marine fouling*, bagian depan dan tengah lambung kapal mempunyai pola kecenderungan yang berlawanan dengan pertumbuhan *marine fouling*, hal ini menunjukkan bahwa keberadaan pertumbuhan *marine fouling* untuk daerah ini tidak memberikan perubahan terhadap pengaruh tegangan geser. Sedangkan untuk bagian belakang pada kecepatan yang tinggi tegangan geser mengalami peningkatan, berbeda dengan kapal pada kecepatan rendah dimana nilai tegangan geser mengalami penurunan. Dari penjelasan diatas, sebagaimana yang telah dijelaskan oleh Pascual (1992) bahwa tegangan geser dapat memberikan pengaruh negatif terhadap pertumbuhan *marine fouling*, maka untuk kasus ini pada kapal yang sudah ditumbuhi oleh *marine fouling* bagian belakang yang semula bagus untuk pertumbuhan *marine fouling* menjadi terganggu akibat tegangan geser. Hal ini yang menjadikan salah satu faktor bahwa pertumbuhan di daerah belakang tidak secepat di depan, meskipun dalam kondisi smooth hull area tersebut baik untuk pertumbuhan *marine fouling*.

Pada karakteristik selanjutnya yaitu tekanan aliran, hubungan pola kecenderungan tekanan aliran terhadap pertumbuhan *marine fouling* akan digambarkan dalam gambar 5.10 dibawah ini.

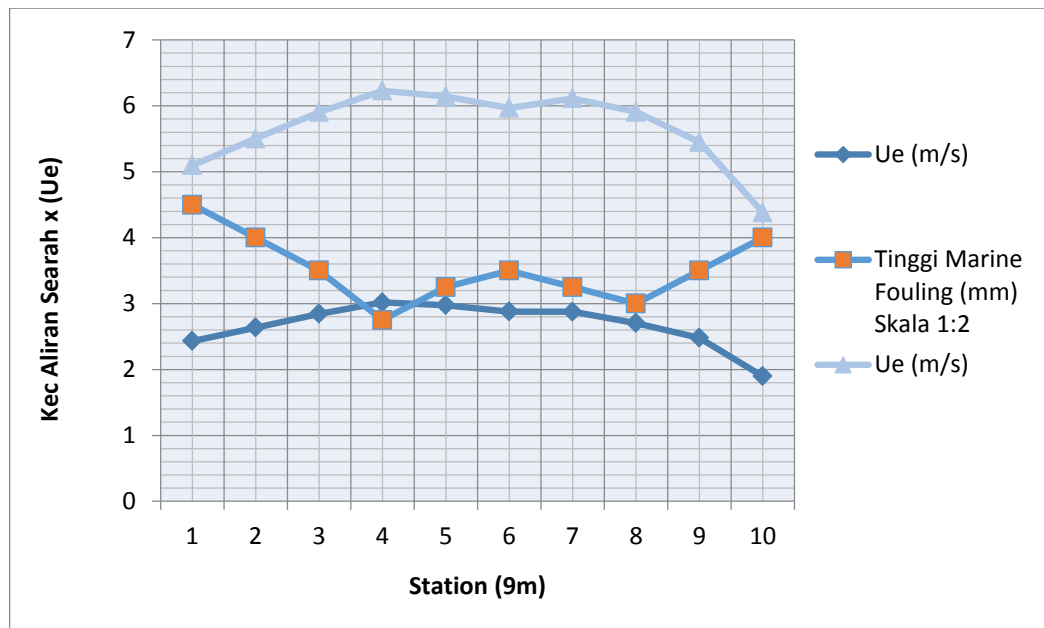


Gambar 5. 10 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan *Marine Fouling* Terhadap Tekanan

Pada gambar 5.10 menunjukkan bahwa terdapat kemiripan pola kecenderungan pertumbuhan *marine fouling* terhadap tekanan aliran pada lambung kapal. Bentuk pola kecenderungan antara variabel tekanan dan pertumbuhan *marine fouling* menunjukkan bahwa adanya bentuk pola yang sama. Pada bagian depan dari lambung kapal nilai tekanan mengalami penurunan yaitu pada bagian 1, 2, 3 dan 4 dengan besar nilai tekanan aliran 2.7 kPa, 0.6 kPa, -1.6 kPa dan -2.9 kPa untuk kecepatan 12 knot dan 0.6 kPa, 0.1 kPa, -0.4 kPa dan -0.8 kPa untuk kecepatan 6 knot. Berbanding lurus dengan pertumbuhan yang dialami oleh *marine fouling*, pertumbuhan *marine fouling* mengalami penurunan dari bagian 1 sampai bagian 4, yaitu 9 mm, 8 mm, 7 mm dan 5.5 mm.

Pada bagian selanjutnya bentuk pola karakteristik tekanan aliran membentuk pola seperti bukit yakni pada bagian 5, 6 dan 7 (-2.2 kPa, -1.4 kPa dan -2.7 kPa) untuk kecepatan 12 knot dan (-2.18 kPa, -1.38 kPa dan -2.65 kPa) untuk kecepatan 6 knot, hal ini juga berbanding lurus terhadap pola pertumbuhan *marine fouling* yang juga membentuk pola seperti bukit pada bagian 5, 6 dan 7 (6.5 mm, 7 mm dan 6.5 mm). Pada *station* 8 sampai 10 bentuk pola kecenderungan antara tekanan dengan pertumbuhan *marine fouling* membentuk pola yang sama dimana pada *station* 8, 9 dan 10 (-2.5 kPa, -1.5 kPa dan 2.4 kPa) untuk kecepatan 12 knot dan (-0.65 kPa, -0.4 kPa dan 0.6 kPa) untuk kecepatan 6 knot pola tegangan geser permukaan mengalami kenaikan dan pada pertumbuhan *marine fouling* pada *station* 8, 9 dan 10 (6 mm, 7 mm dan 8 mm) juga mengalami peningkatan. Dari pemaparan diatas menggambarkan bahwa semakin besar nilai tekanan maka semakin tinggi pertumbuhan *marine fouling*. Hal ini memberikan gambaran bahwa pada saat kapal kondisi sudah ditumbuhi *marine fouling*, pola kecenderungan tekanan air terhadap pertumbuhan *marine fouling* tidak mendapatkan pengaruh. Tekanan air tetap memberikan keuntungan yang baik untuk pertumbuhan *marine fouling*, baik pada saat kondisi lambung kapal halus maupun sudah ditumbuhi *marine fouling*.

Pada karakteristik hidrodinamik selanjutnya yaitu kecepatan aliran potensial, hubungan pola kecenderungan kecepatan aliran potensial terhadap *marine fouling* akan digambarkan dalam gambar 5.11 dibawah ini.



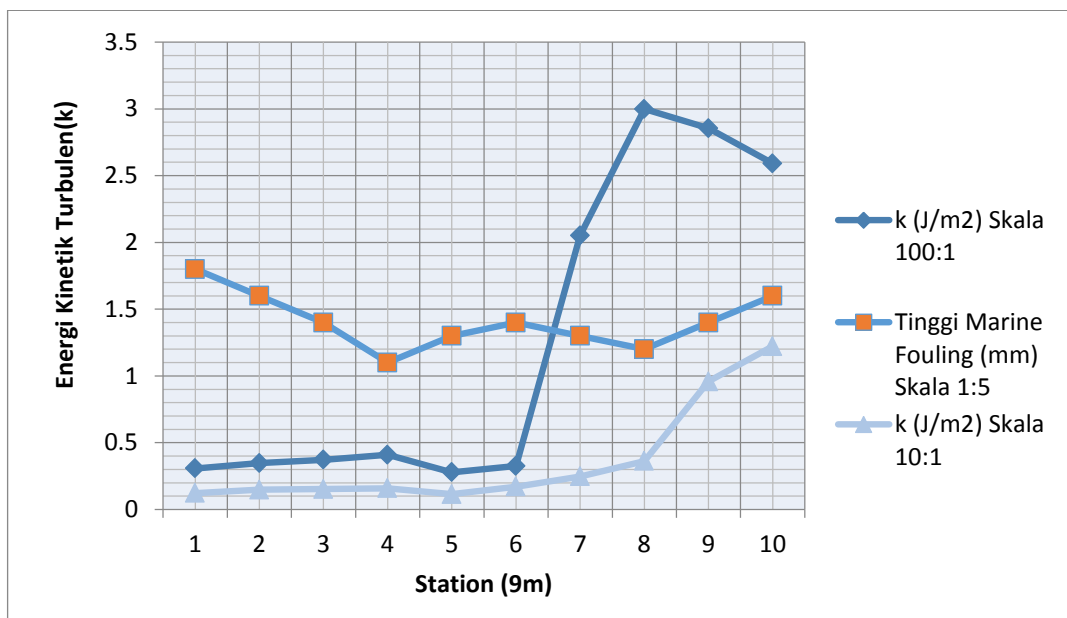
Gambar 5. 11 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan *Marine Fouling* Terhadap Kecepatan Aliran Potensial Searah X

Pada gambar 5.11 menunjukkan bahwa terdapat kemiripan pola kecenderungan pertumbuhan *marine fouling* terhadap kecepatan aliran potensial pada lambung kapal. Bentuk pola kecenderungan antara variabel kecepatan aliran potensial potensial dan pertumbuhan *marine fouling* menunjukkan bahwa adanya bentuk pola yang berlawanan. Pada bagian depan dari lambung kapal nilai kecepatan aliran potensial mengalami kenaikan yaitu pada bagian 1, 2, 3 dan 4 dengan besar nilai kecepatan aliran potensial 5.0 m/s, 5.5 m/s, 5.9 m/s dan 6.2 m/s untuk kecepatan 12 knot dan 2.4 m/s, 2.6 m/s, 2.8 m/s dan 3.0 m/s untuk kecepatan 6 knot. Berbanding terbalik dengan pertumbuhan yang dialami oleh *marine fouling*, pertumbuhan *marine fouling* mengalami penurunan dari bagian 1 sampai bagian 4, yaitu 9 mm, 8 mm, 7 mm dan 5.5 mm.

Pada bagian selanjutnya bentuk pola karakteristik kecepatan aliran potensial membentuk pola seperti lembah yakni pada bagian 5, 6 dan 7 (6.1 m/s, 5.97 m/s dan 6.1 m/s) untuk kecepatan 12 knot dan (2.97 m/s, 2.87 m/s dan 2.87 m/s) untuk kecepatan 6 knot, hal ini berbanding terbalik dengan pola pertumbuhan pada *marine fouling* yang membentuk pola seperti bukit pada bagian 5, 6 dan 7 (6.5 mm, 7 mm dan 6.5 mm). Pada station 8 sampai 10 bentuk pola kecenderungan antara kecepatan aliran potensial dengan pertumbuhan *marine fouling* membentuk pola yang berlawanan, dimana pada station 8, 9 dan 10 (2.7 m/s, 2.5 m/s dan 1.9 m/s) untuk kecepatan 6 knot dan (5.9 m/s, 5.5 m/s dan 4.3 m/s) untuk kecepatan 12 knot kecepatan aliran potensial mengalami penurunan sedangkan pada *marine fouling*

pada *station* 8, 9 dan 10 (6 mm, 7 mm dan 8 mm) pertumbuhan *marine fouling* mengalami peningkatan. Dari pemaparan diatas menggambarkan bahwa semakin besar nilai kecepatan aliran potensial maka semakin rendah pertumbuhan *marine fouling*. Sebagaimana yang telah dijelaskan oleh Pascual (1992) terhambatnya pertumbuhan *marine fouling* pada lambung kapal diatas dikarenakan terganggunya proses penempelan *marine fouling* dan sistem penyaringan untuk mendapatkan makan yang diakibatkan oleh kecepatan aliran potensial pada lambung kapal.

Pada karakteristik selanjutnya yaitu energi kinetik turbulen, hubungan pola kecenderungannya terhadap *marine fouling* akan digambarkan dalam gambar 5.12 dibawah ini.



Gambar 5. 12 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan *Marine Fouling* Terhadap Energi Kinetik Turbulen

Gambar 5.12 menunjukkan bahwa terdapat keterkaitan pola kecenderungan pertumbuhan *marine fouling* terhadap energi kinetik turbulen aliran pada lambung kapal. Pada bagian depan dari lambung kapal nilai energi kinetik turbulen mengalami sedikit kenaikan yaitu pada bagian 1, 2, 3 dan 4 dengan besar nilai turbulensi yaitu 0.0123 J/m^2 , 0.0148 J/m^2 , 0.0153 J/m^2 dan 0.01593 J/m^2 untuk kecepatan 12 knot dan 0.0031 J/m^2 , 0.0035 J/m^2 , 0.0037 J/m^2 dan 0.0041 J/m^2 untuk kecepatan 12 knot. Berbanding terbalik dengan pertumbuhan yang dialami oleh *marine fouling*, dimana pertumbuhan *marine fouling* mengalami penurunan dari bagian 1 sampai bagian 4, yaitu 9 mm, 8 mm, 7 mm dan 5.5 mm.

Pada bagian selanjutnya bentuk pola karakteristik energi kinetik turbulen membentuk grafik kurva naik keatas yakni pada bagian 5, 6 7 dan 8 (0.0028, 0.0033, 0.0205 dan 0.03) untuk kecepatan 6 knot dan (0.0115 J/m², 0.0171 J/m², 0.0248 J/m² dan 0.03625 J/m²) untuk kecepatan 12 knot, hal ini secara umum berlawanan dengan pola pertumbuhan pada *marine fouling* yang mengalami penurunan pada *station* 6, 7 dan 8 (7 mm, 6.5 mm dan 6 mm), meskipun pada stasion 5 pertumbuhan *marine fouling* mengalami kenaikan. Pada *station* 9 dan 10, bentuk pola kecenderungan energi kinetik turbulen untuk kecepatan 12 knot mengalami kenaikan (0.096 J/m² dan 0.122 J/m²) sama seperti pertumbuhan *marine fouling* yang juga mengalami kenaikan (7 mm dan 8 mm), sedangkan untuk kecepatan 6 knot turbulensi mengalami penurunan (0.028 J/m² dan 0.025 J/m²). Dari pemaparan diatas menggambarkan bahwa pada kondisi kapal yang sudah ditumbuhi marine foluing, bagian depan dan tengah lambung kapal mempunyai pola kecenderungan yang berlawanan dengan pertumbuhan *marine fouling*, hal ini menunjukkan bahwa keberadaan petumbuhan *marine fouling* untuk daerah ini tidak memberikan perubahan terhadap pengaruh energi kinetik turbulen. Sedangkan untuk bagian belakang pada kecepatan yang tinggi energi kinetik turbulen mengalami peningkatan, berbeda dengan kapal pada kecepatan rendah dimana nilai turbulensi mengalami penurunan. Dari penjelasan diatas, sebagaimana yang telah dijelaskan oleh Pascual (1992) bahwa karakteristik hidrodinamik energi kinetik turbulen dapat meberikan pengaruh negatif terhadap pertumbuhan *marine fouling*, maka untuk kasus ini pada kapal yang sudah ditumbuhi oleh *marine fouling* bagian belakang yang semula bagus untuk pertumbuhan *marine fouling* menjadi terganggu akibat adanya kenaikan nilai energi kinetik turbulen. Sebagaimana pada tegangan geser, dan kecepatan aliran potensial hal ini juga menjadikan salah satu faktor kenapa pertumbuhan *marine fouling* di daerah belakang kapal tidak secepat di depan, meskipun dalam kondisi *smooth hull* area tersebut baik untuk pertumbuhan *marine fouling*.

Pada keempat grafik diatas menjelaskan bahwa pada lambung kapal dengan ketinggian antara 1.5 sampai 3 meter yang mempunyai kekasaran, mempunyai karakteristik lapisan batas (tekanan, tegangan geser permukaan, kecepatan aliran potensial dan energi kinetik turbulen) yang mempengaruhi pertumbuhan *marine fouling*. Pertumbuhan *marine fouling* pada lambung kapal meberikan pengaruh terhadap karakteristik hidrodinamis pada lapisan batas, terlebih bila kapal dalam kondisi kecepatan yang tinggi. Karakteristik ini berengaruh pada bagian belakang kapal, dimana pada bagian belakang kapal pada saat kecepatan kapal yang tinggi membuat nilai tegangan geser, kecepatan aliran potensial dan energi kinetik turbulen. Hal ini

menjadi salah satu faktor kenapa pada bagian belakang pertumbuhan *marine fouling* lebih dibanding dengan bagian depan.

Pada pembahasan selanjutnya akan dipaparkan terkait dengan hasil dari pola kecenderungan karakteristik lapisan batas pada dinding atas (3 meter sampai 4.5 meter) dengan kecepatan yang sama antara 6 dan 12 knot. Hasil dipaparkan dalam tabel 5.7 dan 5.8 dibawah ini

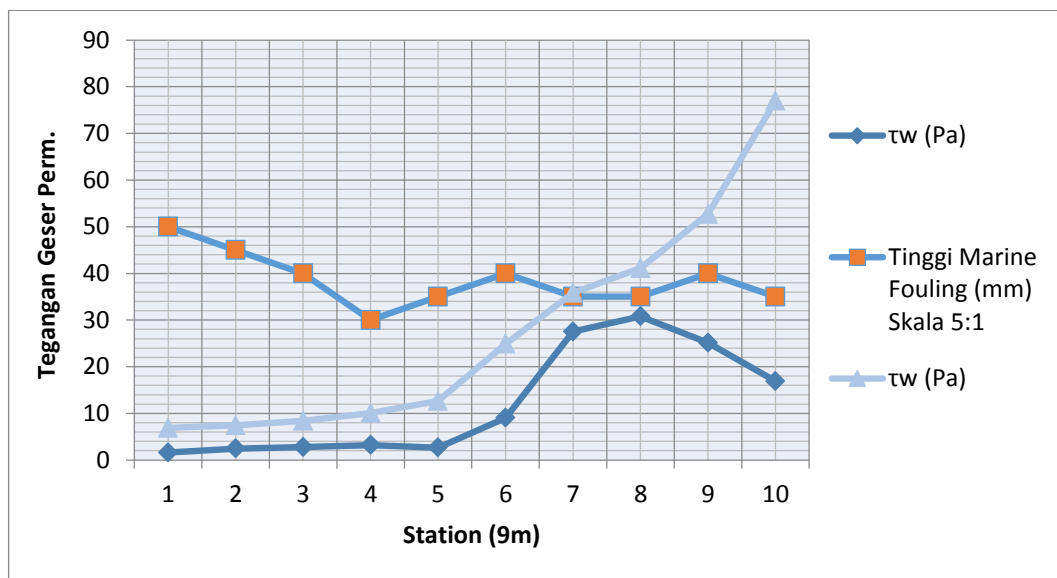
Tabel 5. 7 Nilai Kecepatan Aliran Potensial (U), Tekanan (P) , Tegangan Geser (T_w) Dan Energi Kinetik Turbulen (K) Kapal Caraka pada Ketinggian 3 – 4.5 meter (12 knot).

Station	τ_w (Pa)	P (Pa)	Ue (m/s)	Energi Kinetik Turbulen (J/m^2)
1	6,86654	3,797	4,930	0,006887
2	7,43738	1,888	5,318	0,00746
3	8,39507	-0,995	5,796	0,00842
4	10,0446	-3,470	6,129	0,010075
5	12,6441	-1,882	6,062	0,012682
6	24,8923	-1,353	5,903	0,024967
7	35,8405	-2,111	5,968	0,035948
8	41,1264	-3,136	5,980	0,04125
9	52,7151	-0,732	5,324	0,052874
10	76,9494	3,654	4,039	0,077181

Tabel 5. 8 Nilai Kecepatan Aliran Potensial (U), Tekanan (P) , Tegangan Geser (T_w) Dan Energi Kinetik Turbulen (K) Kapal Caraka pada Ketinggian 3 – 4.5 meter (6 knot).

Station	τ_w (Pa)	P (Pa)	Ue (m/s)	Energi Kinetik Turbulen (J/m^2)
1	1,60108	0,911	2,344	0,001606
2	2,47137	0,434	2,539	0,002479
3	2,77164	-0,286	2,779	0,00278
4	3,20741	-0,906	3,061	0,003217
5	2,65886	-0,506	2,933	0,002667
6	9,04951	-0,369	2,822	0,009077
7	27,5393	-0,561	2,716	0,027622
8	30,784	-0,810	2,655	0,030877
9	25,1398	-0,206	2,298	0,025215
10	16,8893	1,585	2,298	0,01694

Pada kedua tabel 5.7 dan 5.8 diatas memaparkan besar nilai tegangan geser permukaan, tekanan, kecepatan aliran potensial dan turbulensi pada bagian atas (3 sampai 4.5 meter dari bottom) pada lambung kapal yang mempunyai kekasaran. Hasil diatas menunjukkan bahwa terdapat nilai dengan pola kecenderungan yang sama antar *station* satu dengan *station* yang lain. Selanjutnya, untuk mengetahui keterkaitan antara karakteristik hidrodinamika terhadap pertumbuhan *marine fouling* maka dilakukan studi kecocokan antara pola kecenderungan pertumbuhan *marine fouling* terhadap pola karakteristik hidrodinamis yang meliputi tekanan, tegangan geser permukaan, kecepatan aliran potensial dan energi kinetik turbulen pada lambung yang mendekati permukaan air. Pola kecenderungan tegangan geser permukaan pada bagian atas akan dipaparkan dalam gambar 5.13 dibawah ini.



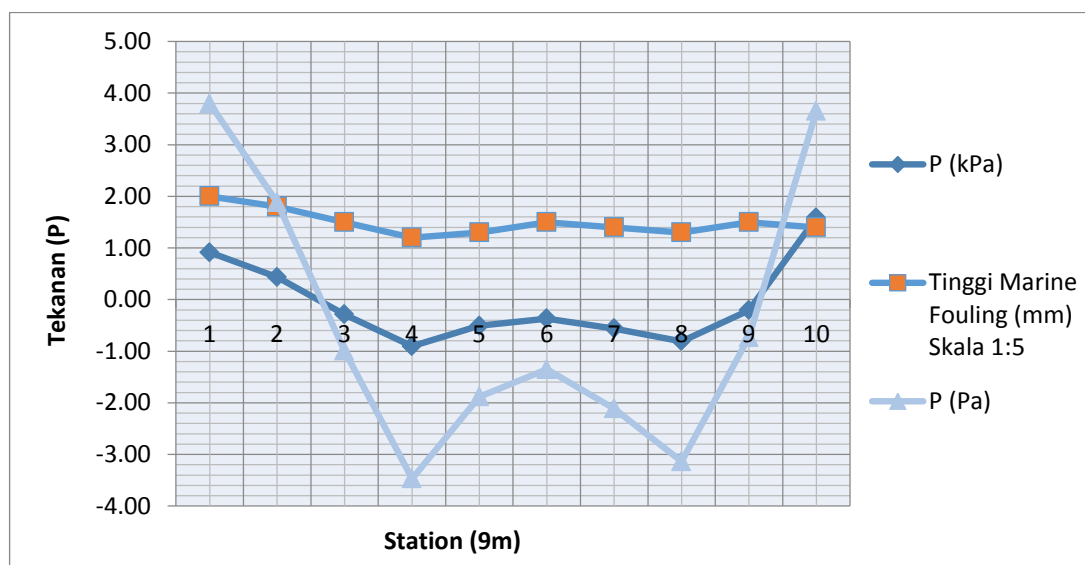
Gambar 5. 13 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan *Marine Fouling* Terhadap Tegangan Geser

Gambar 5.13 menunjukkan bahwa terdapat sedikit kemiripan dengan pola kecenderungan pertumbuhan *marine fouling* terhadap tegangan geser permukaan hidrostatik pada lambung kapal tanpa kekasaran. Pada bagian depan dari lambung kapal nilai tegangan geser permukaan mengalami sedikit kenaikan yaitu pada bagian 1, 2, 3 dan 4 dengan besar nilai tegangan geser permukaan 6.87 Pa, 7.44 Pa, 8.4 Pa dan 10.05 Pa untuk kecepatan 12 knot dan 1.6 Pa, 2.47 Pa, 2.77 Pa dan 3.21 Pa untuk kecepatan 6 knot. Berbanding terbalik dengan pertumbuhan yang dialami oleh *marine fouling*, dimana pertumbuhan *marine fouling* mengalami penurunan dari bagian 1 sampai bagian 4, yaitu 10 mm, 9 mm, 8 mm dan 6 mm.

Pada bagian selanjutnya bentuk pola karakteristik tegangan geser permukaan membentuk grafik kurva naik keatas yakni pada bagian 5, 6 7 dan 8 (12.6 Pa, 24.89 Pa, 35.84

Pa dan 41.13 Pa) untuk kecepatan 12 knot dan (2 Pa, 9 Pa, 27.5 Pa dan 30.78 Pa) untuk kecepatan 6 knot, hal ini secara umum berlawanan dengan pola pertumbuhan pada *marine fouling* yang mengalami penurunan pada *station* 6, 7 dan 8 (8 mm, 7 mm dan 7 mm), meskipun pada stasion 5 pertumbuhan *marine fouling* mengalami kenaikan. Pada *station* 9 dan 10, bentuk pola kecenderungan tegangan geser permukaan untuk kecepatan 6 knot mengalami penurunan (25.14 Pa dan 16.89 Pa) sama seperti pertumbuhan *marine fouling* yang juga mengalami penurunan (8 mm dan 7 mm), sedangkan untuk kecepatan 6 knot tegangan geser mengalami penurunan (28 Pa dan 25 Pa). Dari pemaparan diatas menggambarkan bahwa pada kondisi kapal yang sudah ditumbuhi *marine fouling*, bagian depan dan tengah lambung kapal mempunyai pola kecenderungan yang berlawanan dengan pertumbuhan *marine fouling*, hal ini menunjukkan bahwa keberadaan pertumbuhan *marine fouling* untuk daerah ini sama seperti halnya pada bagian bawah, dimana kekasaran permukaan tidak memberikan perubahan terhadap pengaruh tegangan geser. Sedangkan untuk bagian belakang, pada kecepatan kapal tinggi tegangan geser mengalami peningkatan tegangan geser, berbeda dengan kapal pada kecepatan rendah dimana nilai tegangan geser mengalami penurunan. Dari penjelasan diatas, besarnya pengaruh dari kenaikan tegangan geser akibat kekasaran pada lambung dan tingginya kecepatan kapal, bisa menghambat pertumbuhan *marine fouling*.

Pada karakteristik selanjutnya yaitu tekanan aliran, hubungan pola kecenderungan tekanan aliran terhadap pertumbuhan *marine fouling* akan digambarkan dalam gambar 5.14 dibawah ini.

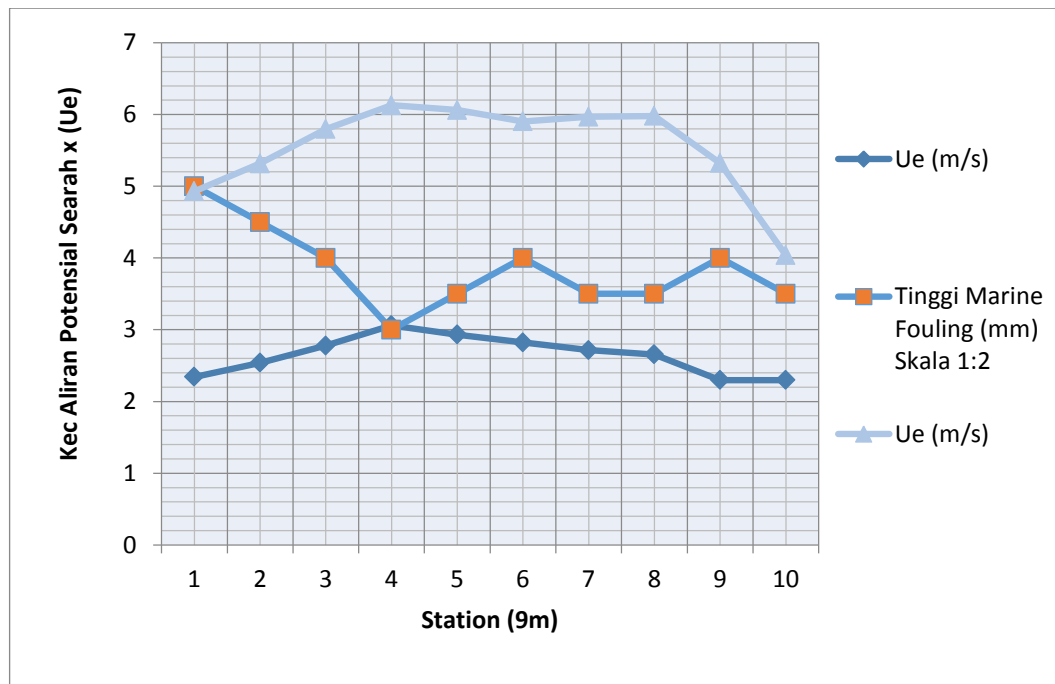


Gambar 5. 14 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan *Marine Fouling* Terhadap Tekanan

Pada gambar 5.14 menunjukkan bahwa terdapat kemiripan pola kecenderungan pertumbuhan *marine fouling* terhadap tekanan aliran pada lambung kapal. Bentuk pola kecenderungan antara variabel tekanan dan pertumbuhan *marine fouling* menunjukkan bahwa adanya bentuk pola yang sama. Pada bagian depan dari lambung kapal nilai tekanannya mengalami penurunan yaitu pada bagian 1, 2, 3 dan 4 dengan besar nilai tegangan geser permukaan 3.8 kPa, 1.9 kPa, -1 kPa dan -3.5 kPa untuk kecepatan 12 knot dan 0.91 kPa, 0.43 kPa, -0.29 kPa dan -0.91 kPa untuk kecepatan 6 knot. Berbanding lurus dengan pertumbuhan yang dialami oleh *marine fouling*, pertumbuhan *marine fouling* mengalami penurunan dari bagian 1 sampai bagian 4, yaitu 10 mm, 9 mm, 8 mm dan 6 mm.

Pada bagian selanjutnya bentuk pola karakteristik tekanan aliran membentuk pola seperti bukit yakni pada bagian 5, 6 dan 7 (-1.8 kPa, -1.35 kPa dan -2 kPa) untuk kecepatan 12 knot dan (-0.51 kPa, -0.37 kPa dan -0.56 kPa) untuk kecepatan 6 knot, hal ini berbanding lurus dengan pola pertumbuhan pada *marine fouling* yang juga membentuk pola seperti bukit pada bagian 5, 6 dan 7 (7 mm, 7 mm dan 6 mm). Pada *station* 8 sampai 10 bentuk pola kecenderungan antara tekanan dengan pertumbuhan *marine fouling* membentuk pola yang sama dimana pada *station* 8, 9 dan 10 (-3.1 kPa, -0.7 kPa dan 3.7 kPa) untuk kecepatan 12 knot dan (-0.81 kPa, -0.2 kPa dan 1.59 kPa) untuk kecepatan 6 knot tegangan geser permukaan mengalami kenaikan dan pada pertumbuhan *marine fouling* pada *station* 8, 9 dan 10 (8 mm, 9 mm dan 9 mm) juga mengalami peningkatan. Dari pemaparan diatas menggambarkan bahwa semakin besar nilai tekanan maka semakin rendah pertumbuhan *marine fouling*. Hal ini menjadikan keuntungan untuk pertumbuhan *marine fouling* pada lambung kapal diatas disebabkan tekanan tidak mengganggu proses penempelan *marine fouling* akan tetapi membantu sistem penyaringan untuk mendapatkan makanan.

Pada karakteristik yang lain yaitu kecepatan aliran potensial, hubungan pola kecenderungannya terhadap *marine fouling* akan digambarkan dalam gambar 5.15 dibawah ini.



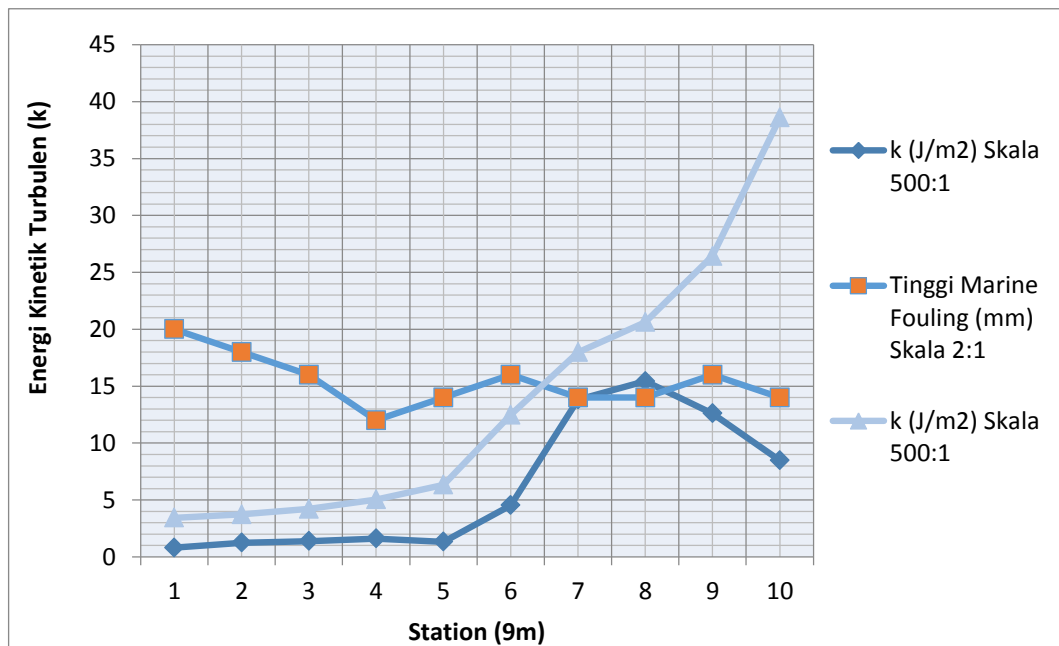
Gambar 5. 15 Kurva pola kecenderungan pertumbuhan *marine fouling* terhadap kecepatan aliran potensial searah x

Pada gambar 5.15 menunjukkan bahwa terdapat kemiripan pola kecenderungan pertumbuhan *marine fouling* terhadap kecepatan aliran potensial pada lambung kapal. Bentuk pola kecenderungan antara variabel kecepatan aliran potensial dan pertumbuhan *marine fouling* menunjukkan bahwa adanya bentuk pola yang berlawanan. Pada bagian depan dari lambung kapal nilai kecepatan aliran potensial mengalami kenaikan yaitu pada bagian 1, 2, 3 dan 4 dengan besar nilai kecepatan aliran potensial 4.9 m/s, 5.3 m/s, 5.8 m/s dan 6.1 m/s untuk kecepatan 12 knot dan 2.3 m/s, 2.5 m/s, 2.8 m/s dan 3.1 m/s untuk kecepatan 6 knot. Berbanding terbalik dengan pertumbuhan yang dialami oleh *marine fouling*, pertumbuhan *marine fouling* mengalami penurunan dari bagian 1 sampai bagian 4, yaitu 10 mm, 9 mm, 8 mm dan 6 mm.

Pada bagian selanjutnya bentuk pola karakteristik kecepatan aliran potensial membentuk pola seperti lembah yakni pada bagian 5, 6 dan 7 (2.9 m/s, 2.8 m/s dan 2.7 m/s) untuk kecepatan 6 knot dan (6.0 m/s, 5.9 m/s dan 6.0 m/s) untuk kecepatan 12 knot, meskipun pada *station* 6 kecepatan 6 knot kecepatan aliran potensial nya sedikit menurun, hal ini berbanding terbalik dengan pola pertumbuhan pada *marine fouling* yang membentuk pola seperti bukit pada bagian 5, 6 dan 7 (7 mm, 8 mm dan 7 mm). Pada *station* 8 sampai 10 bentuk pola kecenderungan antara kecepatan aliran potensial dengan pertumbuhan *marine fouling* membentuk pola yang berlawanan, dimana pada *station* 8, 9 dan 10 (2.6 m/s, 2.3 m/s dan 2.3

m/s) untuk kecepatan 6 knot dan (6.0 m/s, 5.3 m/s dan 4.0 m/s) untuk kecepatan 12 knot kecepatan aliran potensial mengalami penurunan sedangkan pada marine *marine fouling* pada station 8, 9 dan 10 (7 mm, 8 mm dan 7 mm) pertumbuhan *marine fouling* mengalami peningkatan, meskipun pada bagian station 10 pertumbuhan mengalami sedikit penurunan. Dari pemaparan diatas menggambarkan bahwa semakin besar nilai kecepatan aliran potensial maka semakin rendah pertumbuhan *marine fouling*. Sebagaimana yang telah dijelaskan oleh Pascual (1992) terhambatnya pertumbuhan *marine fouling* pada lambung kapal diatas disebabkan terganggunya proses penempelan *marine fouling* dan sistem penyaringan untuk mendapatkan makan yang diakibatkan oleh kecepatan aliran potensial pada lambung kapal.

Pada karakteristik selanjutnya yaitu energi kinetik turbulen, hubungan pola kecenderungannya terhadap *marine fouling* akan digambarkan dalam gambar 5.16 dibawah ini.



Gambar 5. 16 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan *Marine Fouling* Terhadap Energi Turbulen

Pada gambar 5.16 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan antara pola kecenderungan pertumbuhan *marine fouling* terhadap energi kinetik turbulen aliran pada lambung kapal tanpa kekasaran. Bentuk pola kecenderungan antara variabel energi kinetik turbulen aliran dan pertumbuhan *marine fouling* menunjukkan bahwa adanya bentuk pola yang berlawanan. Pada bagian depan dari lambung kapal nilai energi kinetik turbulen aliran mengalami penurunan yaitu pada bagian 1, 2, 3 dan 4 dengan besar turbulensi aliran 0.0069 J/m^2 , 0.0075 J/m^2 ,

0.0084 J/m² dan 0.01 J/m² untuk kecepatan 12 knot dan 0.0016 J/m², 0.0025 J/m², 0.0028 J/m² dan 0.0032 J/m² untuk kecepatan 6 knot. Berbanding terbalik dengan pertumbuhan yang dialami oleh *marine fouling*, pertumbuhan *marine fouling* mengalami penurunan dari bagian 1 sampai bagian 4, yaitu 10 mm, 9 mm, 8 mm dan 6 mm.

Pada bagian selanjutnya bentuk pola karakteristik energi kinetik turbulen aliran membentuk pola seperti grafik keatas yakni pada bagian 5, 6, 7 dan 8 (0.0027 J/m², 0.009 J/m², 0.028 J/m² dan 0.03 J/m²) untuk kecepatan 6 knot dan (0.013 J/m², 0.025 J/m², 0.036 J/m² dan 0.041 J/m²) untuk kecepatan 12 knot, hal ini secara umum berlawanan dengan pola pertumbuhan pada *marine fouling* yang mengalami penurunan pada *station* 6, 7 dan 8 (8 mm, 7 mm dan 7 mm), meskipun pada *station* 5 pertumbuhan *marine fouling* mengalami kenaikan. Pada *station* 9 dan 10, bentuk pola kecenderungan energi kinetik turbulen untuk kecepatan 6 knot mengalami penurunan (0.025 J/m² dan 0.017 J/m²) sama seperti pertumbuhan *marine fouling* yang juga mengalami penurunan (8 mm dan 7 mm), sedangkan untuk kecepatan 12 knot energi kinetik turbulen mengalami penurunan (0.05 J/m² dan 0.07 J/m²).

Pada keempat grafik diatas menjelaskan bahwa pada lambung kapal dalam kondisi kasar dengan ketinggian antara 3 sampai 4.5 meter mempunyai karakteristik lapisan batas (tegangan geser permukaan dan energi kinetik turbulen) yang berbeda dengan karakteristik pada ketinggian 1.5 sampai 3 meter dimana ada beberapa daerah yang mempunyai pengaruh berlawanan dengan pertumbuhan *marine fouling* sebagaimana pada lambung kapal tanpa kekasaran. Hal ini menunjukkan bahwa pada lambung kapal yang mempunyai kekasaran memberikan pengaruh berbeda terhadap pertumbuhan *marine fouling*, hal ini dikarenakan adanya perubahan nilai karakteristik hidrodinamis yang disebabkan oleh kekasaran lambung kapal. perbedaan sangat terlihat pada bagian tengah dan belakang, dimana dalam kondisi ini kurva dari masing-masing karakteristik hidrostatik dengan kecepatan yang tinggi (12 knot) memberikan nilai yang berkebalikan. Hal inilah yang menjadi salah satu penyebab pertumbuhan *marine fouling* dibagian belakang kapal agak terhambat.

Dari pemaparan diatas menggambarkan bahwa pada kondisi kapal yang sudah ditumbuhi *marine fouling*, bagian depan dan tengah lambung kapal mempunyai pola kecenderungan yang berlawanan dengan pertumbuhan *marine fouling*, hal ini menunjukkan bahwa keberadaan pertumbuhan *marine fouling* untuk daerah ini sama seperti halnya pada bagian bawah lambung kapal, dimana kekasaran permukaan tidak memberikan perubahan terhadap pengaruh kecepatan aliran potensial. Sedangkan untuk bagian belakang, pada kecepatan kapal tinggi energi kinetik turbulen mengalami peningkatan, berbeda dengan kapal pada kecepatan yang rendah, dimana nilai energi kinetik turbulen aliran mengalami

penurunan. Dari penjelasan diatas, besarnya pengaruh dari kenaikan turbulensi aliran akibat kekasaran pada lambung dan tingginya kecepatan kapal, bisa menghambat pertumbuhan *marine fouling*.

Pascual (1992) menjelaskan bahwa organisme *marine fouling* dapat tumbuh optimal jika proses penyaringan zat-zat makanan berlangsung baik dan dibarengi dengan intensitas pencernaan yang tinggi. Dalam penelitian ini kedua bagian menjelaskan bahwa pada daerah pertemuan antara daerah depan dan daerah tengah lambung kapal merupakan daerah yang memiliki intensitas gangguan hidrodinamis yang maksimal. Pada daerah tersebut, organ penyaringan selalu dalam posisi sondong kebelakang sebagai akibat dari terpaan arus air. Kecondongan organ penyaringan ini mengakibatkan luas penyaringan yang berhadapan dengan arus air (luas proyeksi) akan menurun, sehingga jumlah zat-zat makanan yang tersaring juga ikut menurun.

Intensitas juga mengalami maksimum pada pertemuan antara daerah depan dan tengah lambung kapal. keberadaan turbulensi dengan intensitas tinggi pada daerah-daerah ini akan meningkatkan detak jantung (*heart brake rate*, HBR). Pada tahap selanjutnya, peningkatan HBR akan meningkatkan intensitas pencernaan dalam tubuh *marine fouling*. Namun demikian, karena peningkatan intensitas pencernaan yang tidak dibarengi dengan suplai zat makanan yang cukup, maka pertumbuhan organisme *marine fouling* pada daerah ini tetap rendah.

5.4 Hasil Running Kapal Semi Container Caraka pada Lambung dengan Kekasaran Tidak Merata

Dalam *running* ansys CFX ini badan kapal disimulasikan mempunyai kekasaran dimana tinggi kekasaran (Ks) antara satu bagian dengan bagian yang lain berbeda. Simulasi ini menunjukkan bahwa kapal telah ditumbuhi oleh *marine fouling* dengan ketinggian acak. Pada permukaan lambung, besar nilai tegangan geser permukaan berbeda dengan permukaan yang kasar. Sebagaimana yang telah kita ketahui dalam penjelasan Schlichting (1979) pada subbab 2.6 bahwa besar nilai dari tegangan geser dinding pada permukaan yaitu

$$\tau_w = \frac{c_f \cdot \rho \cdot u^2}{2}$$

Perbedaan nilai tegangan geser ini tentunya bukan dikarenakan oleh perbedaan formula dari τ_w , akan tetapi perbedaan disebabkan oleh variabel lain yang menjadi bagian dari formula τ_w yaitu nilai c_f . Selain itu dalam penelitian ini yang menjadi kriteria utama adalah

nilai turbulensi, yang mana hal ini sangat berkaitan dengan aliran u^+ . Adapun besar nilai u^+ dalam law of wall (Cebecchi dan Bradshaw, 1977) adalah :

$$u^+ = 1/k \ln y^+ + B - \Delta B$$

dikarenakan nilai $Ks^+ > 90$, maka nilai ΔB termasuk dalam kekasaran penuh (Cebecchi dan Bradshaw, 1977), sehingga ΔB dicari menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\Delta B = 1/k \ln (k_s^+) - 3.3$$

Persamaan formula diatas menjadi dasar perhitungan dalam matematic model yang berada pada *software* ansys CFX dengan kakasaran *sand grain*. Dengan menggunakan formula matematic diatas hasil *running* pada ansys CFX yang menggunakan 2 variasi kecepatan yaitu 6 knot dan 12 knot dapat diketahui dalam tabel 5.9 dan 5.10 dibawah ini.

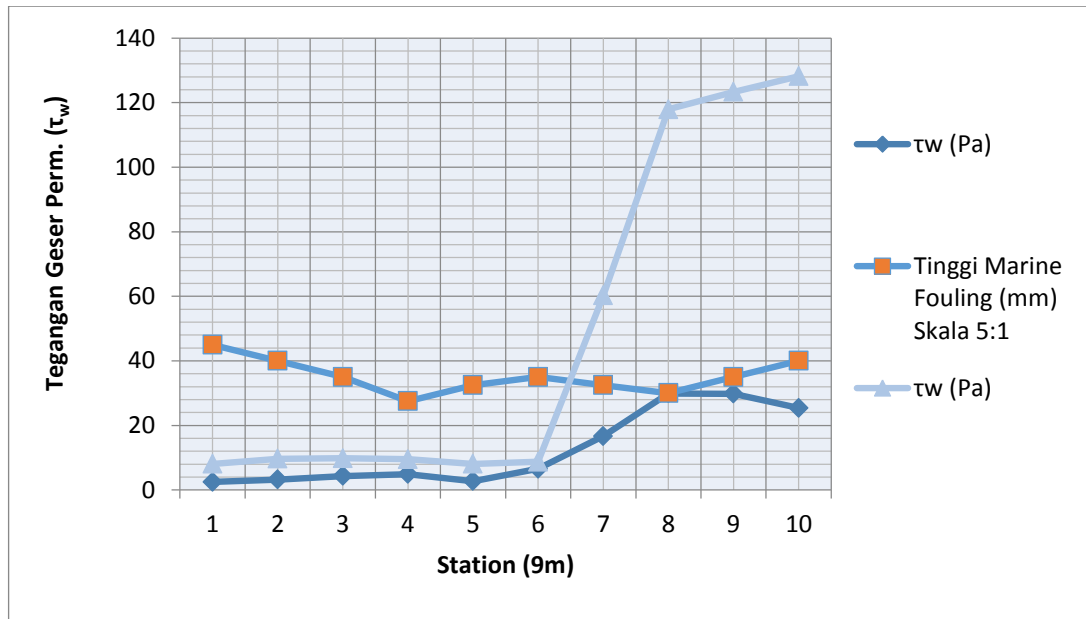
Tabel 5. 9 Nilai Kecepatan Aliran Potensial (U), Tekanan (P) , Tegangan Geser (T_w) dan Energikinetik Turbulen (K) Kapal Caraka pada Ketinggian 1.5 – 3 meter (12 knot).

<i>Station</i>	τ_w (Pa)	P (kPa)	Ue (m/s)	Energi Kinetik Turbulen (J/m ²)
1	8,060	2,543	5,094	0,008
2	9,658	0,477	5,521	0,010
3	9,804	-1,726	5,913	0,010
4	9,508	-3,002	6,143	0,010
5	8,089	-2,321	6,072	0,008
6	8,721	-1,506	6,015	0,009
7	60,238	-2,757	6,022	0,060
8	117,915	-2,659	5,605	0,118
9	123,327	-1,658	5,221	0,124
10	128,213	2,327	4,113	0,129

Tabel 5. 10 Nilai Kecepatan Aliran Potensial (U), Tekanan (P) , Tegangan Geser (T_w) dan Energi Kinetik Turbulen (K) Kapal Caraka pada Ketinggian 1.5 – 3 meter (6 knot)

<i>Station</i>	τ_w (Pa)	P (kPa)	Ue (m/s)	Energi Kinetik Turbulen (J/m^2)
1	2,455	0,593	2,433	0,002
2	3,225	0,077	2,644	0,003
3	4,286	-0,728	2,851	0,004
4	4,882	-0,790	3,030	0,005
5	2,743	-0,618	2,998	0,003
6	6,553	-0,414	2,919	0,007
7	16,658	-0,731	2,910	0,017
8	29,902	-0,697	2,646	0,030
9	29,801	-0,438	2,427	0,030
10	25,400	0,561	1,777	0,025

Pada kedua tabel 5.9 dan 5.10 telah dipaparkan besar nilai tegangan geser permukaan, tekanan, kecepatan aliran potensial dan turbulensi pada bagian bawah (1.5 sampai 3 meter dari bottom) pada lambung kapal dengan kekasaran (lambung kapal telah ditumbuhi *marine fouling*). Hasil diatas menunjukkan bahwa terdapat nilai karakteristik hidrodinamik dengan pola kecenderungan yang berkaitan antar *station* satu dengan *station* yang lain. Untuk mengetahui keterkaitan antara karekteristik hidrodinamika terhadap pertumbuhan *marine fouling* maka dilakukan studi kecocokan antara pola kecenderungan pertumbuhan *marine fouling* terhadap pola karakteristik hidrodinamis yang meliputi tegangan geser, kecepatan aliran potensial dan turbulensi. Pola kecenderungan tegangan geser permukaan akan dipaparkan dalam gambar 5.17 dibawah ini.



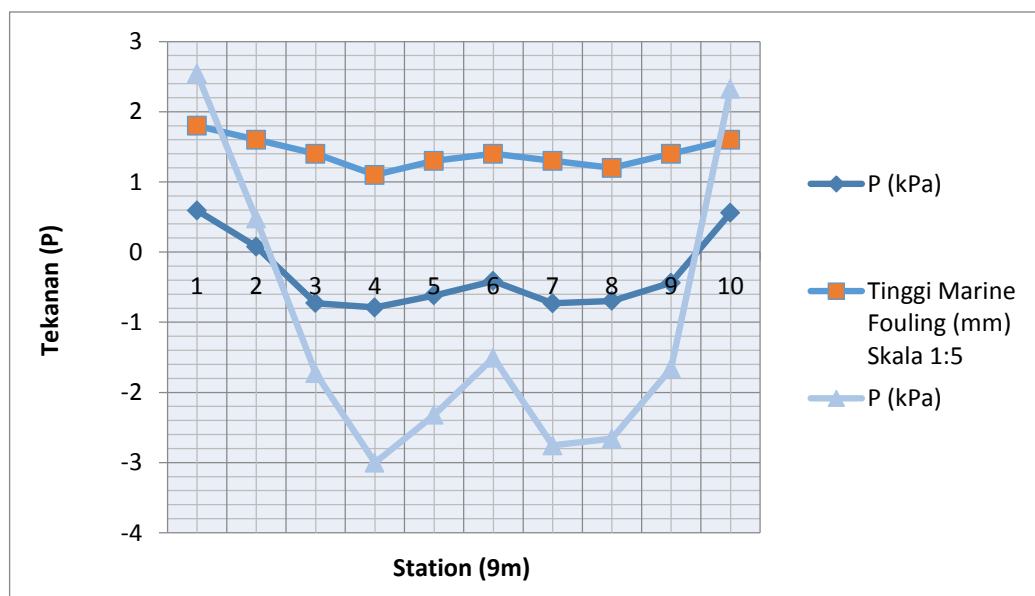
Gambar 5. 17 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan *Marine Fouling* Terhadap Tegangan Geser

Gambar 5.17 menunjukkan bahwa terdapat sedikit kemiripan pola kecenderungan pertumbuhan *marine fouling* terhadap tegangan geser permukaan hidrostatik pada lambung kapal. Pada bagian depan dari lambung kapal nilai tegangan geser permukaan mengalami sedikit kenaikan yaitu pada bagian 1, 2, 3 dan 4 dengan besar nilai tegangan geser permukaan 8 Pa, 9.6 Pa, 9.8 Pa dan 9.5 Pa untuk kecepatan 12 knot dan 2 Pa, 3 Pa, 4 Pa dan 5 Pa untuk kecepatan 6 knot. Berbanding terbalik dengan pertumbuhan yang dialami oleh *marine fouling*, dimana pertumbuhan *marine fouling* mengalami penurunan dari bagian 1 sampai bagian 4, yaitu 9 mm, 8 mm, 7 mm dan 5.5 mm.

Pada bagian selanjutnya bentuk pola karakteristik tegangan geser permukaan membentuk grafik kurva naik keatas yakni pada bagian 5, 6 7 dan 8 (8 Pa, 8.7 Pa, 60 Pa dan 117 Pa) untuk kecepatan 12 knot dan (3 Pa, 6.5 Pa, 16.6 Pa dan 29.9 Pa) untuk kecepatan 6 knot, hal ini secara umum berlawanan dengan pola pertumbuhan pada *marine fouling* yang mengalami penurunan pada *station* 6, 7 dan 8 (7 mm, 6.5 mm dan 6 mm), meskipun pada stasion 5 pertumbuhan *marine fouling* mengalami kenaikan. Pada *station* 9 dan 10, bentuk pola kecenderungan tegangan geser permukaan untuk kecepatan 12 knot mengalami kenaikan (123 Pa dan 128 Pa) sama seperti pertumbuhan *marine fouling* yang juga mengalami kenaikan (7 mm dan 8 mm), sedangkan untuk kecepatan 6 knot tegangan geser mengalami penurunan (29.8 Pa dan 25.4 Pa). Dari pemaparan diatas menggambarkan bahwa pada kondisi kapal yang sudah ditumbuhi *marine fouling*, bagian depan dan tengah lambung kapal mempunyai pola kecenderungan yang berlawanan dengan pertumbuhan *marine fouling*, hal ini

menunjukkan bahwa keberadaan pertumbuhan *marine fouling* untuk daerah ini tidak memberikan perubahan terhadap pengaruh tegangan geser. Sedangkan untuk bagian belakang pada kecepatan yang tinggi tegangan geser mengalami peningkatan, berbeda dengan kapal pada kecepatan rendah dimana nilai tegangan geser mengalami penurunan. Dari penjelasan diatas, sebagaimana yang telah dijelaskan oleh Pascual (1992) bahwa tegangan geser dapat memberikan pengaruh negatif terhadap pertumbuhan *marine fouling*, maka untuk kasus ini pada kapal yang sudah ditumbuhi oleh *marine fouling* bagian belakang yang semula bagus untuk pertumbuhan *marine fouling* menjadi terganggu akibat tegangan geser. Hal ini yang menjadikan salah satu faktor bahwa pertumbuhan di daerah belakang tidak secepat di depan, meskipun dalam kondisi smooth hull area tersebut baik untuk pertumbuhan *marine fouling*.

Pada karakteristik selanjutnya yaitu tekanan aliran, hubungan pola kecenderungan tekanan aliran terhadap pertumbuhan *marine fouling* akan digambarkan dalam gambar 5.18 dibawah ini.



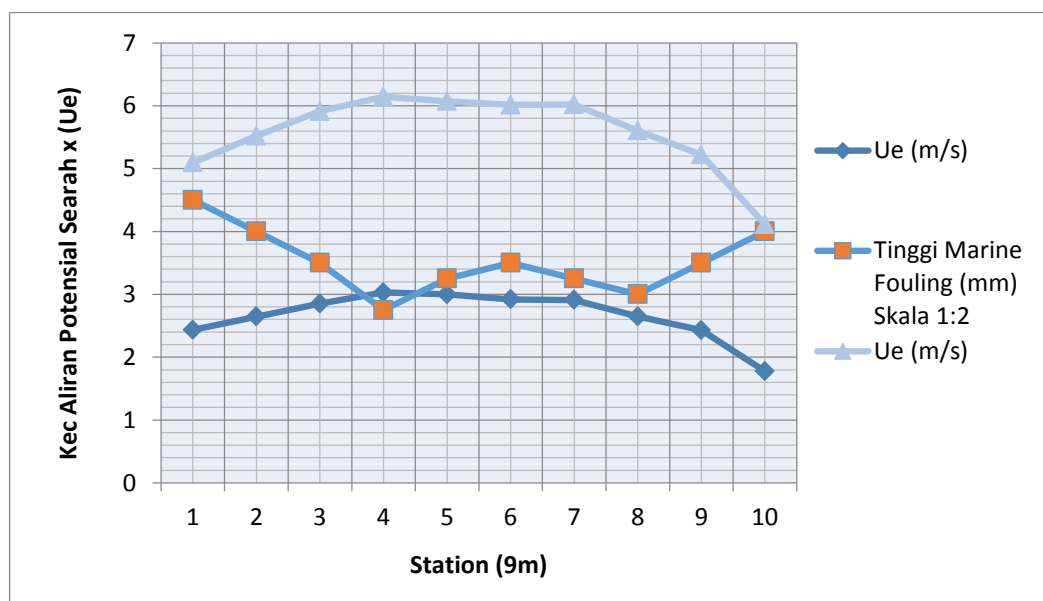
Gambar 5. 18 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan *Marine Fouling* Terhadap Tekanan

Pada gambar 5.18 menunjukkan bahwa terdapat kemiripan pola kecenderungan pertumbuhan *marine fouling* terhadap tekanan aliran pada lambung kapal. Bentuk pola kecenderungan antara variabel tekanan dan pertumbuhan *marine fouling* menunjukkan bahwa adanya bentuk pola yang sama. Pada bagian depan dari lambung kapal nilai tekanan mengalami penurunan yaitu pada bagian 1, 2, 3 dan 4 dengan besar nilai tekanan aliran 2.5 kPa, 0.4 kPa, -1.7 kPa dan -3.0 kPa untuk kecepatan 12 knot dan 0.6 kPa, 0.07 kPa, -0.4 kPa dan -0.8 kPa untuk kecepatan 6 knot. Berbanding lurus dengan pertumbuhan yang dialami

oleh *marine fouling*, pertumbuhan *marine fouling* mengalami penurunan dari bagian 1 sampai bagian 4, yaitu 9 mm, 8 mm, 7 mm dan 5.5 mm.

Pada bagian selanjutnya bentuk pola karakteristik tekanan aliran membentuk pola seperti bukit yakni pada bagian 5, 6 dan 7 (-2 kPa, -1.5 kPa dan -2.7 kPa) untuk kecepatan 12 knot dan (-0.6 kPa, -0.4 kPa dan -0.7 kPa) untuk kecepatan 6 knot, hal ini juga berbanding lurus terhadap pola pertumbuhan *marine fouling* yang juga membentuk pola seperti bukit pada bagian 5, 6 dan 7 (6.5 mm, 7 mm dan 6.5 mm). Pada *station* 8 sampai 10 bentuk pola kecenderungan antara tekanan dengan pertumbuhan *marine fouling* membentuk pola yang sama dimana pada *station* 8, 9 dan 10 (-2.6 kPa, -1.7 kPa dan 2.3 kPa) untuk kecepatan 12 knot dan (-0.68 kPa, -0.44 kPa dan 0.6 kPa) untuk kecepatan 6 knot pola tegangan geser permukaan mengalami kenaikan dan pada pertumbuhan *marine fouling* pada *station* 8, 9 dan 10 (6 mm, 7 mm dan 8 mm) juga mengalami peningkatan. Dari pemaparan diatas menggambarkan bahwa semakin besar nilai tekanan maka semakin tinggi pertumbuhan *marine fouling*. Hal ini memberikan gambaran bahwa pada saat kapal kondisi sudah ditumbuhi *marine fouling*, pola kecenderungan tekanan air terhadap pertumbuhan *marine fouling* tidak mendapatkan pengaruh. Tekanan air tetap memberikan keuntungan yang baik untuk pertumbuhan *marine fouling*, baik pada saat kondisi lambung kapal halus maupun sudah ditumbuhi *marine fouling*.

Pada karakteristik hidrodinamik selanjutnya yaitu kecepatan aliran potensial, hubungan pola kecenderungan kecepatan aliran potensial terhadap *marine fouling* akan digambarkan dalam gambar 5.19 dibawah ini.

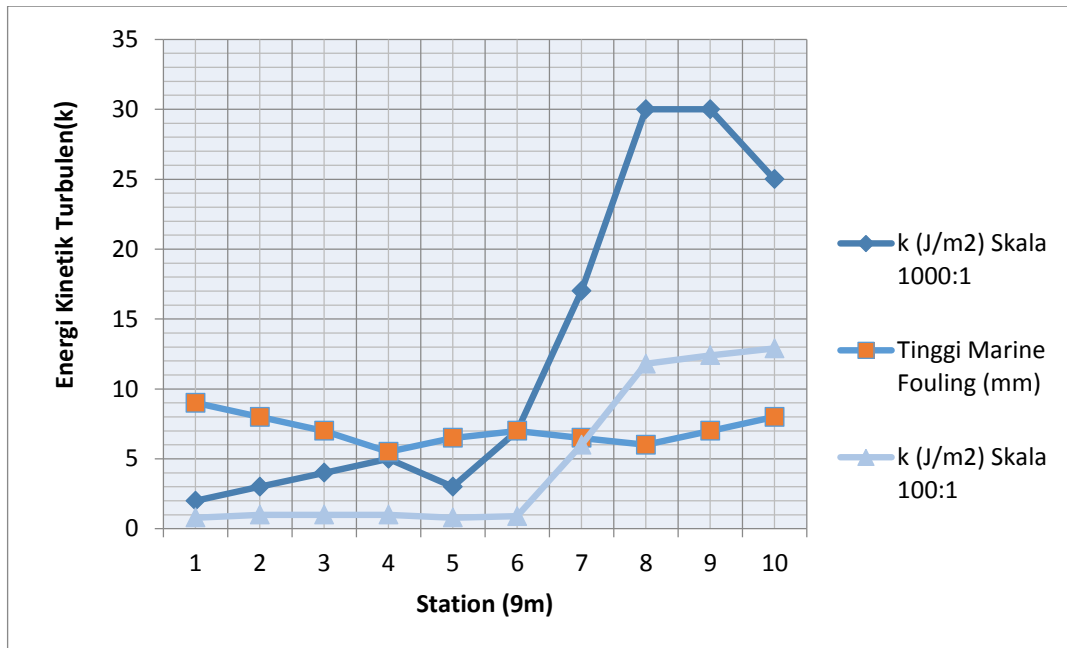


Gambar 5. 19 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan *Marine Fouling* Terhadap Kecepatan Aliran Potensial Searah X

Pada gambar 5.19 menunjukkan bahwa terdapat kemiripan pola kecenderungan pertumbuhan *marine fouling* terhadap kecepatan aliran potensial pada lambung kapal. Bentuk pola kecenderungan antara variabel kecepatan aliran potensial dan pertumbuhan *marine fouling* menunjukkan bahwa adanya bentuk pola yang berlawanan. Pada bagian depan dari lambung kapal nilai kecepatan aliran potensial mengalami kenaikan yaitu pada bagian 1, 2, 3 dan 4 dengan besar nilai kecepatan aliran potensial 5.1 m/s, 5.5 m/s, 5.9 m/s dan 6.1 m/s untuk kecepatan 12 knot dan 2.4 m/s, 2.6 m/s, 2.9 m/s dan 3.0 m/s untuk kecepatan 6 knot. Berbanding terbalik dengan pertumbuhan yang dialami oleh *marine fouling*, pertumbuhan *marine fouling* mengalami penurunan dari bagian 1 sampai bagian 4, yaitu 9 mm, 8 mm, 7 mm dan 5.5 mm.

Pada bagian selanjutnya bentuk pola karakteristik kecepatan aliran potensial membentuk pola seperti lembah yakni pada bagian 5, 6 dan 7 (6.1 m/s, 6.01 m/s dan 6.02 m/s) untuk kecepatan 12 knot dan (3.0 m/s, 2.9 m/s dan 2.91 m/s) untuk kecepatan 6 knot, hal ini berbanding terbalik dengan pola pertumbuhan pada *marine fouling* yang membentuk pola seperti bukit pada bagian 5, 6 dan 7 (6.5 mm, 7 mm dan 6.5 mm). Pada station 8 sampai 10 bentuk pola kecenderungan antara kecepatan aliran potensial dengan pertumbuhan *marine fouling* membentuk pola yang berlawanan, dimana pada station 8, 9 dan 10 (2.6 m/s, 2.4 m/s dan 1.8 m/s) untuk kecepatan 6 knot dan (5.6 m/s, 5.2 m/s dan 4.1 m/s) untuk kecepatan 12 knot kecepatan aliran potensial mengalami penurunan sedangkan pada *marine fouling* pada station 8, 9 dan 10 (6 mm, 7 mm dan 8 mm) pertumbuhan *marine fouling* mengalami peningkatan. Dari pemaparan diatas menggambarkan bahwa semakin besar nilai kecepatan aliran potensial maka semakin rendah pertumbuhan *marine fouling*. Sebagaimana yang telah dijelaskan oleh Pascual (1992) terhambatnya pertumbuhan *marine fouling* pada lambung kapal diatas dikarenakan terganggunya proses penempelan *marine fouling* dan sistem penyaringan untuk mendapatkan makan yang diakibatkan oleh kecepatan aliran potensial pada lambung kapal.

Pada karakteristik selanjutnya yaitu energi kinetik turbulen, hubungan pola kecenderungannya terhadap *marine fouling* akan digambarkan dalam gambar 5.20 dibawah ini.



Gambar 5. 20 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan *Marine Fouling* Terhadap Energi Kinetik Turbulen

Gambar 5.20 menunjukkan bahwa terdapat keterkaitan pola kecenderungan pertumbuhan *marine fouling* terhadap energi kinetik turbulen aliran pada lambung kapal. Pada bagian depan dari lambung kapal nilai turbulensi mengalami sedikit kenaikan yaitu pada bagian 1, 2, 3 dan 4 dengan besar nilai turbulensi yaitu 0.008 J/m^2 , 0.009 J/m^2 , 0.01 J/m^2 dan 0.01 J/m^2 untuk kecepatan 12 knot dan 0.0025 J/m^2 , 0.0032 J/m^2 , 0.0043 J/m^2 dan 0.0049 J/m^2 untuk kecepatan 6 knot. Berbanding terbalik dengan pertumbuhan yang dialami oleh *marine fouling*, dimana pertumbuhan *marine fouling* mengalami penurunan dari bagian 1 sampai bagian 4, yaitu 9 mm, 8 mm, 7 mm dan 5.5 mm.

Pada bagian selanjutnya bentuk pola karakteristik energi kinetik turbulen membentuk grafik kurva naik keatas yakni pada bagian 5, 6 7 dan 8 (0.0028 J/m^2 , 0.0066 J/m^2 , 0.0167 J/m^2 dan 0.03 J/m^2) untuk kecepatan 6 knot dan (0.008 J/m^2 , 0.06 J/m^2 , 0.12 J/m^2 dan 0.13 J/m^2) untuk kecepatan 12 knot, hal ini secara umum berlawanan dengan pola pertumbuhan pada *marine fouling* yang mengalami penurunan pada station 6, 7 dan 8 (7 mm, 6.5 mm dan 6 mm), meskipun pada stasion 5 pertumbuhan *marine fouling* mengalami kenaikan. Pada station 9 dan 10, bentuk pola kecenderungan energi kinetik turbulen untuk kecepatan 12 knot mengalami kenaikan (0.12 J/m^2 dan 0.13 J/m^2) sama seperti pertumbuhan *marine fouling* yang juga mengalami kenaikan (7 mm dan 8 mm), sedangkan untuk kecepatan 6 knot energi kinetik turbulen mengalami penurunan (0.029 J/m^2 dan 0.026 J/m^2). Dari pemaparan diatas menggambarkan bahwa pada kondisi kapal yang sudah ditumbuhi marine foluing, bagian

depan dan tengah lambung kapal mempunyai pola kecenderungan yang berlawanan dengan pertumbuhan *marine fouling*, hal ini menunjukkan bahwa keberadaan pertumbuhan *marine fouling* untuk daerah ini tidak memberikan perubahan terhadap pengaruh energi kinetik turbulen. Sedangkan untuk bagian belakang pada kecepatan yang tinggi energi kinetik turbulen mengalami peningkatan, berbeda dengan kapal pada kecepatan rendah dimana nilai energi kinetik turbulen mengalami penurunan. Dari penjelasan diatas, sebagaimana yang telah dijelaskan oleh Pascual (1992) bahwa karakteristik hidrodinamik turbulensi dapat memberikan pengaruh negatif terhadap pertumbuhan *marine fouling*, maka untuk kasus ini pada kapal yang sudah ditumbuhi oleh *marine fouling* bagian belakang yang semula bagus untuk pertumbuhan *marine fouling* menjadi terganggu akibat adanya kenaikan nilai energi kinetik turbulen. Sebagaimana pada tegangan geser, dan kecepatan aliran potensial hal ini juga menjadikan salah satu faktor kenapa pertumbuhan *marine fouling* di daerah belakang kapal tidak secepat di depan, meskipun dalam kondisi smooth hull area tersebut baik untuk pertumbuhan *marine fouling*.

Pada keempat grafik diatas menjelaskan bahwa pada lambung kapal dengan ketinggian antara 1.5 sampai 3 meter yang mempunyai kekasaran, mempunyai karakteristik lapisan batas (tekanan, tegangan geser permukaan, kecepatan aliran potensial dan energi kinetik turbulen) yang mempengaruhi pertumbuhan *marine fouling*. Pertumbuhan *marine fouling* pada lambung kapal memberikan pengaruh terhadap karakteristik hidrodinamis pada lapisan batas, terlebih bila kapal dalam kondisi kecepatan yang tinggi. Karakteristik ini berpengaruh pada bagian belakang kapal, dimana pada bagian belakang kapal pada saat kecepatan kapal yang tinggi membuat nilai tegangan geser, kecepatan aliran potensial dan turbulensi. Hal ini menjadi salah satu faktor kenapa pada bagian belakang pertumbuhan *marine fouling* lebih dibanding dengan bagian depan.

Pada pembahasan selanjutnya akan dipaparkan terkait dengan hasil dari pola kecenderungan karakteristik lapisan batas pada dinding atas (3 meter sampai 4.5 meter) dengan kecepatan yang sama antara 6 dan 12 knot. Hasil dipaparkan dalam tabel 5.11 dan 5.12 dibawah ini

Tabel 5. 11 Nilai Kecepatan Aliran Potensial (Ue), Tekanan (P) , Tegangan Geser (T_w) dan Energi Kinetik Turbulen (K) Kapal Caraka pada Ketinggian 3 – 4.5 meter (6 knot).

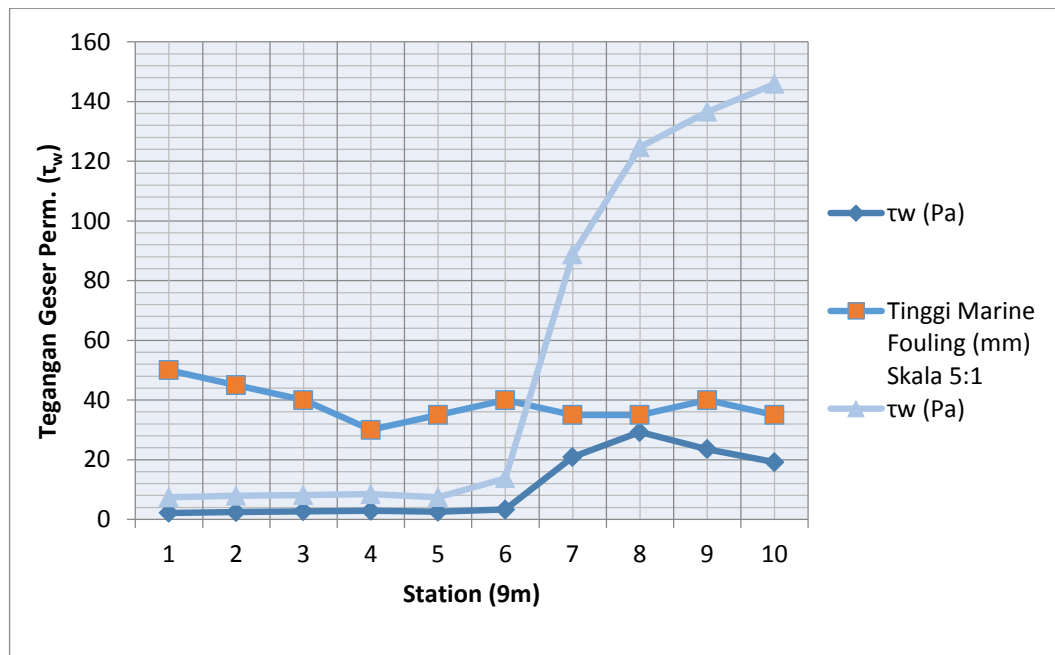
<i>Station</i>	τ_w (Pa)	P (kPa)	Ue (m/s)	Energi Kinetik Turbulen (J/m^2)
1	2,1784	0,8800	2,349	0,0022
2	2,4340	0,4055	2,544	0,0024
3	2,7213	-0,3157	2,785	0,0027
4	2,8643	-0,9388	3,073	0,0029
5	2,5304	-0,5411	2,963	0,0025
6	3,2955	-0,4067	2,892	0,0033
7	20,8917	-0,5949	2,747	0,0210
8	29,2423	-0,8454	2,554	0,0293
9	23,5041	-0,2355	2,113	0,0236
10	19,1696	0,8368	1,519	0,0192

Tabel 5. 12 Nilai Kecepatan Aliran Potensial (Ue), Tekanan (P) , Tegangan Geser (T_w) dan Energi Kinetik Turbulen (K) Kapal Caraka pada Ketinggian 3 – 4.5 meter (12 knot).

<i>Station</i>	τ_w (Pa)	P (kPa)	Ue (m/s)	Energi Kinetik Turbulen (J/m^2)
1	7,369	3,688	4,932	0,007
2	7,933	1,779	5,318	0,008
3	8,144	-1,106	5,797	0,008
4	8,452	-3,602	6,137	0,008
5	7,439	-2,023	6,100	0,007
6	13,776	-1,474	5,943	0,014
7	88,728	-2,216	5,730	0,089
8	124,704	-3,217	5,502	0,125
9	136,578	-0,867	4,762	0,137
10	145,913	3,432	3,729	0,146

Pada kedua tabel 5.11 dan 5.12 diatas memaparkan besar nilai tegangan geser permukaan, tekanan, kecepatan aliran potensial dan turbulensi pada bagian atas (3 sampai 4.5 meter dari bottom) pada lambung kapal yang mempunyai kekasaran. Hasil diatas menunjukkan bahwa terdapat nilai dengan pola kecenderungan yang sama antar *station* satu dengan *station* yang lain. Selanjutnya, untuk mengetahui keterkaitan antara karakteristik

hidrodinamika terhadap pertumbuhan *marine fouling* maka dilakukan studi kecocokan antara pola kecenderungan pertumbuhan *marine fouling* terhadap pola karakteristik hidrodinamis yang meliputi tekanan, tegangan geser permukaan, kecepatan aliran potensial dan turbulensi pada lambung yang mendekati permukaan air. Pola kecenderungan tegangan geser permukaan pada bagian atas akan dipaparkan dalam gambar 5.21 dibawah ini.



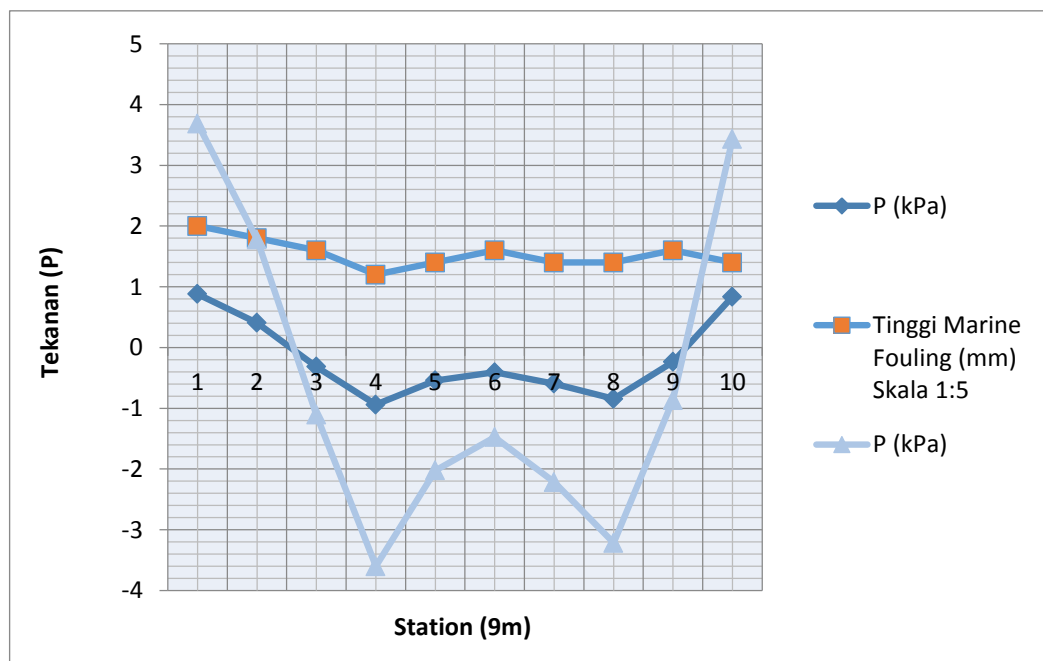
Gambar 5. 21 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan *Marine Fouling* Terhadap Tegangan Geser

Gambar 5.21 menunjukkan bahwa terdapat sedikit kemiripan dengan pola kecenderungan pertumbuhan *marine fouling* terhadap tegangan geser permukaan hidrostatis pada lambung kapal tanpa kekasaran. Pada bagian depan dari lambung kapal nilai tegangan geser permukaan mengalami sedikit kenaikan yaitu pada bagian 1, 2, 3 dan 4 dengan besar nilai tegangan geser permukaan 7.37 Pa, 7.93 Pa, 8.14 Pa dan 8.45 Pa untuk kecepatan 12 knot dan 2.1 Pa, 2.43 Pa, 2.72 Pa dan 2.86 Pa untuk kecepatan 6 knot. Berbanding terbalik dengan pertumbuhan yang dialami oleh *marine fouling*, dimana pertumbuhan *marine fouling* mengalami penurunan dari bagian 1 sampai bagian 4, yaitu 10 mm, 9 mm, 8 mm dan 6 mm.

Pada bagian selanjutnya bentuk pola karakteristik tegangan geser permukaan membentuk grafik kurva naik keatas yakni pada bagian 5, 6 7 dan 8 (7 Pa, 13 Pa, 88 Pa dan 124 Pa) untuk kecepatan 12 knot dan (2 Pa, 3 Pa, 20.9 Pa dan 29.2 Pa) untuk kecepatan 6 knot, hal ini secara umum berlawanan dengan pola pertumbuhan pada *marine fouling* yang mengalami penurunan pada *station* 6, 7 dan 8 (8 mm, 7 mm dan 7 mm), meskipun pada

stasiun 5 pertumbuhan *marine fouling* mengalami kenaikan. Pada *station* 9 dan 10, bentuk pola kecenderungan tegangan geser permukaan untuk kecepatan 6 knot mengalami penurunan (23.5 Pa dan 19.1 Pa) sama seperti pertumbuhan *marine fouling* yang juga mengalami penurunan (8 mm dan 7 mm), sedangkan untuk kecepatan 12 knot tegangan geser mengalami penurunan (136 Pa dan 145 Pa). Dari pemaparan diatas menggambarkan bahwa pada kondisi kapal yang sudah ditumbuhi *marine fouling*, bagian depan dan tengah lambung kapal mempunyai pola kecenderungan yang berlawanan dengan pertumbuhan *marine fouling*, hal ini menunjukkan bahwa keberadaan pertumbuhan *marine fouling* untuk daerah ini sama seperti halnya pada bagian bawah, dimana kekasaran permukaan tidak memberikan perubahan terhadap pengaruh tegangan geser. Sedangkan untuk bagian belakang, pada kecepatan kapal tinggi tegangan geser mengalami peningkatan tegangan geser, berbeda dengan kapal pada kecepatan rendah dimana nilai tegangan geser mengalami penurunan. Dari penjelasan diatas, besarnya pengaruh dari kenaikan tegangan geser akibat kekasaran pada lambung dan tingginya kecepatan kapal, bisa menghambat pertumbuhan *marine fouling*.

Pada karakteristik selanjutnya yaitu tekanan aliran, hubungan pola kecenderungan tekanan aliran terhadap pertumbuhan *marine fouling* akan digambarkan dalam gambar 5.22 dibawah ini.



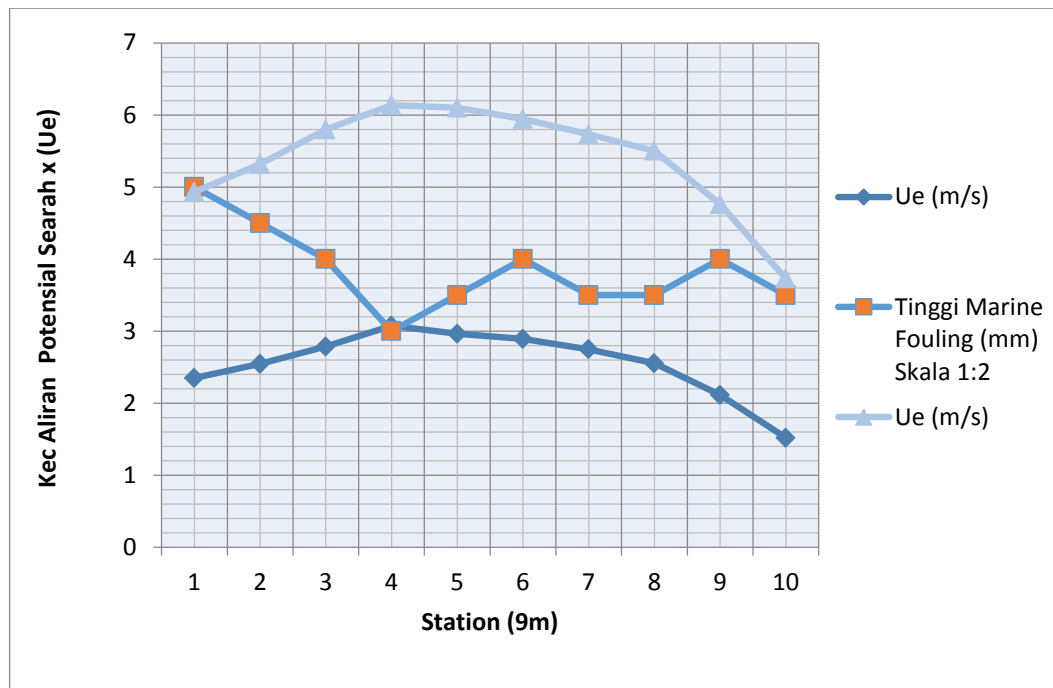
Gambar 5. 22 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan *Marine Fouling* Terhadap Tekanan

Pada gambar 5.22 menunjukkan bahwa terdapat kemiripan pola kecenderungan pertumbuhan *marine fouling* terhadap kecepatan aliran potensial pada lambung kapal. Bentuk

pola kecenderungan antara variabel kecepatan aliran potensial dan pertumbuhan *marine fouling* menunjukkan bahwa adanya bentuk pola yang berlawanan. Pada bagian depan dari lambung kapal nilai kecepatan aliran potensial mengalami kenaikan yaitu pada bagian 1, 2, 3 dan 4 dengan besar nilai kecepatan aliran potensial 4.9 m/s, 5.3 m/s, 5.8 m/s dan 6.1 m/s untuk kecepatan 12 knot dan 2.3 m/s, 2.5 m/s, 2.8 m/s dan 3.1 m/s untuk kecepatan 6 knot. Berbanding terbalik dengan pertumbuhan yang dialami oleh *marine fouling*, pertumbuhan *marine fouling* mengalami penurunan dari bagian 1 sampai bagian 4, yaitu 10 mm, 9 mm, 8 mm dan 6 mm.

Pada bagian selanjutnya bentuk pola karakteristik kecepatan aliran potensial membentuk pola seperti lembah yakni pada bagian 5, 6 dan 7 (3.0 m/s, 2.9 m/s dan 2.7 m/s) untuk kecepatan 6 knot dan (6.0 m/s, 5.9 m/s dan 5.7 m/s) untuk kecepatan 12 knot, meskipun pada *station* 6 kecepatan 6 knot kecepatan aliran potensialnya sedikit menurun, hal ini berbanding terbalik dengan pola pertumbuhan pada *marine fouling* yang membentuk pola seperti bukit pada bagian 5, 6 dan 7 (7 mm, 8 mm dan 7 mm). Pada *station* 8 sampai 10 bentuk pola kecenderungan antara kecepatan aliran potensial dengan pertumbuhan *marine fouling* membentuk pola yang berlawanan, dimana pada *station* 8, 9 dan 10 (2.5 m/s, 2.1 m/s dan 1.5 m/s) untuk kecepatan 6 knot dan (5.5 m/s, 4.8 m/s dan 3.7 m/s) untuk kecepatan 12 knot kecepatan aliran potensial mengalami penurunan sedangkan pada *marine fouling* pada *station* 8, 9 dan 10 (7 mm, 8 mm dan 7 mm) pertumbuhan *marine fouling* mengalami peningkatan, meskipun pada bagian *station* 10 pertumbuhan mengalami sedikit penurunan. Dari pemaparan di atas menggambarkan bahwa semakin besar nilai kecepatan aliran potensial maka semakin rendah pertumbuhan *marine fouling*. Sebagaimana yang telah dijelaskan oleh Pascual (1992) terhambatnya pertumbuhan *marine fouling* pada lambung kapal di atas disebabkan terganggunya proses penempelan *marine fouling* dan sistem penyaringan untuk mendapatkan makan yang diakibatkan oleh kecepatan aliran potensial pada lambung kapal.

Pada karakteristik yang lain yaitu kecepatan aliran potensial, hubungan pola kecenderungannya terhadap *marine fouling* akan digambarkan dalam gambar 5.23 di bawah ini.



Gambar 5. 23 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan *Marine Fouling* Terhadap Kecepatan Aliran Potensial Searah x

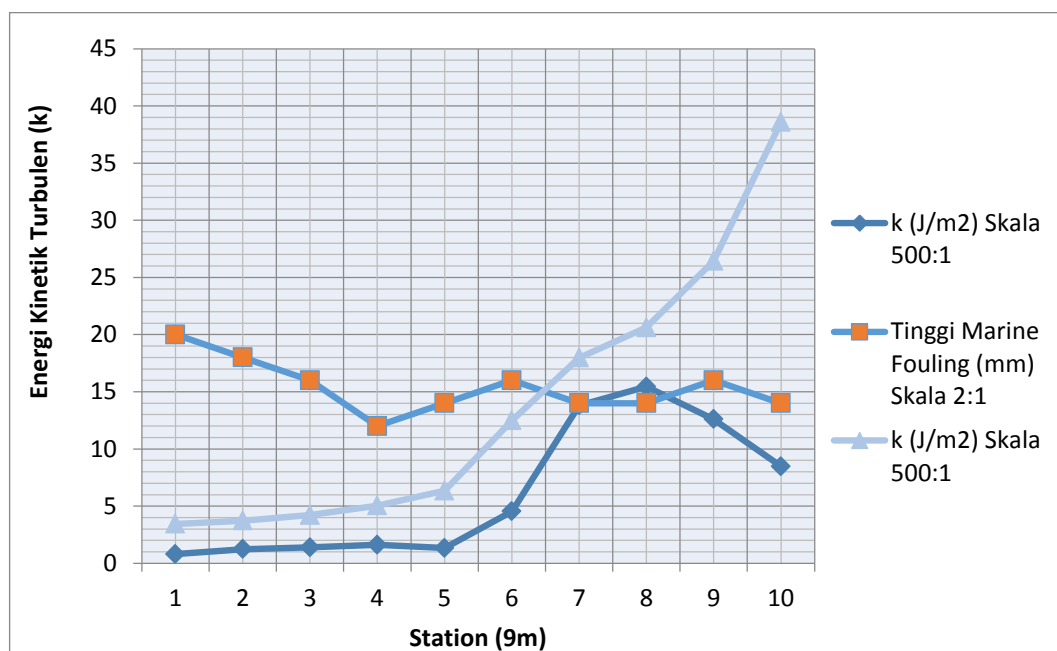
Pada gambar 5.23 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan pola kecenderungan pertumbuhan *marine fouling* terhadap kecepatan aliran potensial pada lambung kapal tanpa kekasaran. Bentuk pola kecenderungan antara variabel kecepatan aliran potensial dan pertumbuhan *marine fouling* menunjukkan bahwa adanya bentuk pola yang berlawanan. Pada bagian depan dari lambung kapal nilai kecepatan aliran potensial mengalami kenaikan yaitu pada bagian 1, 2, 3 dan 4 dengan besar nilai kecepatan aliran potensial 0.43 m/s, 0.47 m/s, 0.49 m/s dan 0.49 m/s untuk kecepatan 12 knot dan 0.24 m/s, 0.26 m/s, 0.28 m/s dan 0.285 m/s untuk kecepatan 6 knot. Berbanding terbalik dengan pertumbuhan yang dialami oleh *marine fouling*, pertumbuhan *marine fouling* mengalami penurunan dari bagian 1 sampai bagian 4, yaitu 10 mm, 9 mm, 8 mm dan 6 mm.

Pada bagian selanjutnya bentuk pola karakteristik kecepatan aliran potensial membentuk grafik kurva naik keatas yakni pada bagian 5, 6, 7 dan 8 (0.28 m/s, 0.32 m/s, 0.81 m/s dan 0.95 m/s) untuk kecepatan 12 knot dan (0.49 m/s, 0.63 m/s, 1.68 m/s dan 1.9 m/s) untuk kecepatan 6 knot, hal ini secara umum berlawanan dengan pola pertumbuhan pada *marine fouling* yang mengalami penurunan pada station 6, 7 dan 8 (8 mm, 7 mm dan 7 mm), meskipun pada stasion 5 pertumbuhan *marine fouling* mengalami kenaikan. Pada station 9 dan 10, bentuk pola kecenderungan kecepatan aliran potensial untuk kecepatan 6 knot mengalami penurunan (0.86 m/s dan 0.60 m/s) sama seperti pertumbuhan *marine fouling* yang

juga mengalami penurunan (8 mm dan 7 mm), sedangkan untuk kecepatan 12 knot tegangan geser mengalami penurunan (1.97 m/s dan 2.04 m/s).

Dari pemaparan diatas menggambarkan bahwa pada kondisi kapal yang sudah ditumbuhi marine foluing, bagian depan dan tengah lambung kapal mempunyai pola kecenderungan yang berlawanan dengan pertumbuhan *marine fouling*, hal ini menunjukkan bahwa keberadaan petumbuhan *marine fouling* untuk daerah ini sama seperti halnya pada bagian bawah, dimana kekasaran permukaan tidak memberikan perubahan terhadap pengaruh kecepatan aliran potensial. Sedangkan untuk bagian belakang, pada kecepatan kapal tinggi kecepatan aliran potensial mengalami peningkatan kecepatan aliran potensial, berbeda dengan kapal pada kecepatan yang rendah, dimana nilai kecepatan aliran potensial mengalami penurunan. Dari penjelasan diatas, besarnya pengaruh dari kenaikan kecepatan aliran potensial akibat kekasaran pada lambung dan tingginya kecepatan kapal, bisa menghambat pertumbuhan *marine fouling*.

Pada karakteristik selanjutnya yaitu kecepatan turbulensi, hubungan pola kecenderungannya terhadap *marine fouling* akan digambarkan dalam gambar 5.24 dibawah ini.



Gambar 5. 24 Kurva Pola Kecenderungan Pertumbuhan *Marine Fouling* Terhadap Energi Kinetik Turbulen

Pada gambar 5.24 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan dengan pola kecenderungan pertumbuhan *marine fouling* terhadap energi kinetik turbulen aliran pada lambung kapal tanpa

kekasaran. Bentuk pola kecenderungan antara variabel energi kinetik turbulen aliran dan pertumbuhan *marine fouling* menunjukkan bahwa adanya bentuk pola yang berlawanan. Pada bagian depan dari lambung kapal nilai energi kinetik turbulen aliran mengalami penurunan yaitu pada bagian 1, 2, 3 dan 4 dengan besar energi kinetik turbulen aliran 0.007 J/m^2 , 0.008 J/m^2 , 0.0082 J/m^2 dan 0.0085 J/m^2 untuk kecepatan 12 knot dan 0.0022 J/m^2 , 0.0024 J/m^2 , 0.0027 J/m^2 dan 0.0029 J/m^2 untuk kecepatan 6 knot. Berbanding terbalik dengan pertumbuhan yang dialami oleh *marine fouling*, pertumbuhan *marine fouling* mengalami penurunan dari bagian 1 sampai bagian 4, yaitu 10 mm, 9 mm, 8 mm dan 6 mm.

Pada bagian selanjutnya bentuk pola karakteristik energi kinetik turbulen aliran membentuk pola seperti grafik keatas yakni pada bagian 5, 6, 7 dan 8 (0.0025 J/m^2 , 0.0033 J/m^2 , 0.021 J/m^2 dan 0.029 J/m^2) untuk kecepatan 6 knot dan (0.0075 J/m^2 , 0.014 J/m^2 , 0.089 J/m^2 dan 0.125 J/m^2) untuk kecepatan 12 knot, hal ini secara umum berlawanan dengan pola pertumbuhan pada *marine fouling* yang mengalami penurunan pada *station* 6, 7 dan 8 (8 mm, 7 mm dan 7 mm), meskipun pada *station* 5 pertumbuhan *marine fouling* mengalami kenaikan. Pada *station* 9 dan 10, bentuk pola kecenderungan energi kinetik turbulen untuk kecepatan 6 knot mengalami penurunan (0.024 J/m^2 dan 0.019 J/m^2) sama seperti pertumbuhan *marine fouling* yang juga mengalami penurunan (8 mm dan 7 mm), sedangkan untuk kecepatan 12 knot energi kinetik turbulen mengalami penurunan (0.137 dan 0.146).

Pada keempat grafik diatas menjelaskan bahwa pada lambung kapal dalam kondisi kasar dengan ketinggian antara 3 sampai 4.5 meter mempunyai karakteristik lapisan batas (tekanan, tegangan geser permukaan, kecepatan aliran potensial dan energi kinetik turbulen) yang berbeda dengan karakteristik pada ketinggian 1.5 sampai 3 meter dimana ada beberapa daerah yang mempunyai pengaruh berlawanan dengan pertumbuhan *marine fouling* sebagaimana pada lambung kapal tanpa kekasaran. Hal ini menunjukkan bahwa pada lambung kapal yang mempunyai kekasaran tidak merata memberikan pengaruh berbeda terhadap pertumbuhan *marine fouling*, hal ini dikarenakan adanya perubahan nilai karakteristik hidrodinamis yang disebabkan oleh kekasaran lambung kapal. Perbedaan sangat terlihat pada bagian tengah dan belakang, dimana dalam kondisi ini kurva dari masing-masing karakteristik hidrostatik dengan kecepatan yang tinggi (12 knot) memberikan nilai yang berkebalikan.

Dari pemaparan diatas menggambarkan bahwa pada kondisi kapal yang sudah ditumbuhi *marine fouling*, bagian depan dan tengah lambung kapal mempunyai pola kecenderungan yang berlawanan dengan pertumbuhan *marine fouling*, hal ini menunjukkan bahwa keberadaan pertumbuhan *marine fouling* untuk daerah ini sama seperti halnya pada

bagian bawah lambung kapal, dimana kekasaran permukaan tidak memberikan perubahan terhadap pengaruh kecepatan aliran potensial. Sedangkan untuk bagian belakang, pada kecepatan kapal tinggi turbulensi mengalami peningkatan turbulensi, berbeda dengan kapal pada kecepatan yang rendah, dimana nilai turbulensi aliran mengalami penurunan. Dari penjelasan diatas, besarnya pengaruh dari kenaikan turbulensi aliran akibat kekasaran pada lambung dan tingginya kecepatan kapal, bisa menghambat pertumbuhan *marine fouling*. Hal inilah yang menjadi salah satu penyebab pertumbuhan *marine fouling* dibagian belakang kapal agak terhambat. Peristiwa yang terjadi pada kekasaran tidak merata ini sama seperti kekasaran merata.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis perhitungan numerik dengan bantuan ansys CFX terhadap karakteristik lapisan batas pada kapal yang dijadikan sampel serta distribusi pertumbuhan *marine fouling* pada badan kapal, maka didapat suatu kesimpulan sebagai berikut:

1. Penurunan kecepatan, tegangan geser permukaan dan turbulensi lapisan batas pada daerah lambung kapal menyebabkan peningkatan pertumbuhan *marine fouling* pada daerah tersebut, sedangkan penurunan tekanan aliran air pada daerah lambung kapal dapat menyebabkan menurunnya pertumbuhan *marine fouling* pada daerah tersebut.
2. Pada fase awal (penempelan) pertumbuhan *marine fouling* maksimum terjadi ketika gangguan hidrodinamis minimum yaitu pada daerah depan ujung kapal dengan besar rata-rata nilai kecepatan 5.07 m/s, energi kinetik turbulen 0.007 J/m^2 , tegangan geser 6.78 Pa dan tekanan 0.81kPa dengan kecepatan dinas.
3. Pada fase lanjutan (pertumbuhan) pertumbuhan *marine fouling* maksimum terjadi ketika gangguan hidrodinamis minimum yaitu pada daerah depan ujung kapal dengan besar rata-rata nilai kecepatan 5.01 m/s, energi kinetik turbulen 0.010 J/m^2 , tegangan geser 9.58 Pa dan tekanan 3.22 kPa dengan kecepatan dinas.
4. Kekasaran pada lambung mengakibatkan peningkatan rata-rata nilai tegangan geser dan turbulensi sebesar 100% untuk $Fr = 0.107$ dan 300% untuk $Fr = 0.215$.
5. Pertumbuhan dan penempelan *marine fouling* pada kapal yang tumbuh secara tidak teratur dapat dilakukan dengan model *irregular* maupun *reguler roughness*, dimana keduanya mempunyai prosentase akurasi 8% dan 5%.

6.2 Saran

Di luar seluruh pekerjaan yang sudah diselesaikan, tentunya masih banyak permasalahan yang belum bisa dijangkau pada pembahasan pada penelitian ini. Kendala utama yang menyebabkannya adalah keterbatasan waktu dan fasilitas yang digunakan. Diharapkan hal tersebut dapat diperbaiki pada penelitian selanjutnya. Untuk itu pada bagian ini dituliskan beberapa saran sebagaimana dituliskan sebagai berikut.

1. Dalam Tugas Akhir ini tidak dilakukan pengujian secara eksperimen untuk membandingkan dengan hasil yang dilakukan dengan perhitungan CFD, sehingga keakuratan hasil semakin bagus.
2. Dalam Pemodelan kapal ini hanya menggunakan satu model kapal, sehingga apabila ada faktor lain yang menjadai penyebab pertumbuhan *marine fouling*, maka hasil menjadai kurang akurat.
3. Pemodelan bisa dilakukan dengan menggunakan program *software* yang lain, seperti diantaranya *ansys Fluent*, *Solid Work* maupun yang lainnya untuk mendapatkan dan memperkuat keakuratan hasil.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1952. *Marine fouling and It's Prevention*, Wood Hole Oceanographic Institution, United States Institute, Annapolis Maryland.
- Crisp, FRS, D.J., “*Mechanism of Adhesion Fouling Organism*”, Proceeding Third International Congress on Marine Corrosion and Fouling, October 2-6, (1972), National Bureau of Standards Gaithersburg, Maryland. USA.
- D. E. Coles. “*The Turbulent Boundary Layer in a Compressible*”. (1974). USA
- Diktat *Stanford University Department of Aeronautics and Astronautics*, 2009
- ITTC. (1990). *Hull roughness*. Report of the ITTC Performance Committee
- Landweber, L., “*Irrotational Flow Within The Boundary Layer and Wake*” *Journal of Ship Research*, Volume 26, no 4, 1982.
- Lewthwaite, J. C., Molland, A. F., and Thomas, K. W. (1985). An investigation into the variation of ship skin frictional resistance with fouling. *The Royal Institute of Naval Architects*, 269-283
- Luthfi, Ahmad Faisal. “Analisa Pengaruh Biota Laut terhadap Tahanan Kapal dan Konsumsi Bahan Bakar Kapal Menggunakan Program CFD”. Surabaya, 2015.
- Puspitasari., “Studi Eksperimen Laju Pertumbuhan *Marine fouling* pada Pelat Baja ASTM 36”. Surabaya, 2016.
- McDonough, J. M., 2009. Lectures in Elementary Fluid Dynamics : Physics, Mathematics and Application. *Lecture Notes*. Lexington : Departments of Mechanical Engineering and Mathematics, University of Kentucky
- Moody, Lewis. Ferry. (1944), “*Friction factors for pipe flow*”, *Transactions of the ASME*, **66** (8): 671–684
- Mullineaux, S. Y. dan Garland, E. D., “*Larva Recruitment in Response to Manipulated Flow Fields*”, *Marine Biology*, Volume 116, 1993.
- Prandtl, L., and Schlichting, H. (1934). Das Widerstandsgesetz rauher Platten. *Springer*, 649-662
- Pascual, C., “*Small Scale Turbulence on Zooplankton Metabolism Affect Turbulence on Heartbeat Rates Planktonic Crustacean*”, *Marine Biology*, Volume 124, 1992.
- Sardjadi, Djoko. *Mekanika Fluida*. Bandung: Art Pro Bandung, 2003
- Schlichting, Herman., “*Boundary Layer Theory*”, seventh edition, McGraw Hill, Inc. USA (1979)

- Utama, I.K.A.P dan Hantoro R. 2010. “Computational Fluid Dynamics (CFD) dengan ANSYS CFX”. ITS Surabaya.
- Yu Ding, “In Situ Observation of Graphes Sublimations and Multi Layers Edge E Contrucion”.2015. Proceedings of the national academic.
- Yulistiyanto, Bambang. 2012. Mekanika Kontinum-Boundary Layer. *Diktat Perkuliahan*. Jogjakarta : Universitas Gadjah Mada

LAMPIRAN

Daftar Lampiran terdiri dari:

1. Lampiran A : Data Tabel Offset
2. Lampiran B : Foto Ketinggian *Marine Fouling*
3. Lampiran C : Perhitungan Tinggi Rata-rata *Marine Fouling*
4. Lampiran D : Perhitungan Validasi C_f
5. Lampiran E : Gambar Hasil *Running*

Data Tabel Offset

Pada lampiran a ini menunjukkan data tabel offset, dimana dalam hal ini data diambil secara manual dengan menginput nilai sesua dengan garis *station* dan water line pada linepline kapal yang telah dipinjamkan dari Dock Perkapalan Surabaya.

Station	0	5	10	15	20	25	30
Water line							
0	-	-	0,25	0,4	0,6	1,2	1,6
0,25	-	-	0,5	1	1,575	2,225	3
0,5	-	-	0,7	1,35	2	2,8	3,7
1	-	0,2	0,9	1,75	2,65	3,6	4,65
1,5	-	0,2	1,1	2,1	3,15	4,225	5,225
2	-	0,4	1,25	2,4	3,6	4,775	5,8
2,5	-	0,15	1,4	2,7	4	5,2	6,25
3	-	0,2	1,6	3,05	4,375	5,6	6,65
4	-	0,4	2,35	3,95	5,375	6,5	7,375
5	0,7	2,4	3,9	5,3	6,425	7,3	7,825
6	3,1	3,15	5,65	6,6	7,4	7,9	8,175
7	4,4	5,75	6,85	7,55	7,975	8,2	8,25
Upper deck	5,25	6,7	7,5	8,1	8,25	8,25	8,25

[illegible]







Station	70	75	80	85	90	95	100	105
Water line								
0	7,2	7,2	7,2	6,4	6	4,8	4	3
0,25	7,875	7,875	7,875	7,575	7	6,275	5,35	4,425
0,5	8,1	8,1	8,1	7,875	7,475	6,725	5,875	5
1	8,25	8,25	8,25	8,15	7,825	7,3	6,6	5,75
1,5	8,25	8,25	8,25	8,25	8,075	7,65	7,05	6,25
2	8,25	8,25	8,25	8,25	8,175	7,875	7,375	6,625
2,5	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	8,075	7,6	6,9
3	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	8,15	7,8	7,175
4	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	8	7,5
5	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	8,15	7,75
6	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	8,225	7,9
7	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	8,025
Upper deck	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	8,125

Station	110	115	120	125	130	135	140	145
Water line								
0	2	1,75	0,75	0,5	0,25	0	-	-
0,25	3,475	2,15	1,875	1,275	0,825	0,45	0	-
0,5	4,05	3,15	2,375	1,7	1,125	0,65	0,225	-
1	4,825	3,875	2,975	2,175	1,475	0,85	0,325	-
1,5	5,35	4,35	3,4	2,475	1,675	1	0,425	-
2	5,725	4,75	3,825	2,7	1,825	1,075	0,49	-
2,5	6,05	5	3,975	2,9	1,975	1,175	0,515	-
3	6,325	5,275	4,175	3,1	2,075	1,25	0,575	-
4	6,75	5,725	4,625	3,475	2,4	1,475	0,675	-
5	7,075	6,15	5,075	3,95	2,825	1,85	0,925	0,1
6	7,325	6,55	5,55	4,5	3,4	2,375	1,35	0,4
7	7,575	6,925	6,1	5,15	4,075	3,05	1,98	0,85
Upper deck	7,8	7,275	6,6	5,725	4,75	3,75	2,675	1,65

LAMPIRAN B

Foto Ketinggian *Marine fouling* Fouling

Lampiran b menggambarkan pertumbuhan *marine fouling* pada masing-masing *station*, dimulai dari *station* 1 sampai *station* 10. Dalam gambar ini menunjukkan bahwa adanya penyebaran ketinggian *marine fouling* pada lambung kapal yang tidak merata.

1. Station 1 	2. Station 2 	3. Station 3 
4. Staion 4 	5. Station 5 	6. Station 6 

7. Station 7



8. Station 8



9. Station 9



10. Station 10



LAMPIRAN C

Perhitungan Tinggi Rata-rata *Marine Fouling*

Pada lampiran c ini menjelaskan perhitungan luas *station* kapal dan tinggi rata-rata *marine fouling*. Dalam hal ini luasan dijadikan sebagai faktor pengali ketinggian untuk didapatkan nilai rata-rata pertumbuhan *marine fouling*. Penentuan luasan *station* terdapat pada tabel 1, sedangkan untuk tinggi rata-rata *marine fouling* terdapat pada tabel 2 dan 3.

1. Tabel Perhitungan Luasan

a. *Station 1 Atas*

<i>Station</i>	<i>Simpson</i>	<i>Total</i>
0	1	0
0,4077	4	1,6308
1,4977	1	1,4977
Σ Luas Statioan		1,0428

b. *Station 1 Bawah*

<i>Station</i>	<i>Simpson</i>	<i>Total</i>
1,0061	1	1,0061
1,0053	4	4,0212
1,1284	1	1,1284
Σ Luas Statioan		2,0519

c. *Station 2 Atas*

<i>Station</i>	<i>Simpson</i>	<i>Total</i>
1,4977	1	1,4977
2,5084	4	10,0336
3,3243	1	3,3243
Σ Luas Statioan		4,951866667

d. *Station 2 Bawah*

<i>Station</i>	<i>Simpson</i>	<i>Total</i>
1,1284	1	1,1284
1,3307	4	5,3228
1,4354	1	1,4354
Σ Luas Statioan		2,628866667

e. **Station 3 Atas**

Station	Simpson	Total
3,3243	1	3,3243
3,8771	4	15,5084
3,1168	1	3,1168
Σ Luas Statioan		7,3165

f. **Station 3 Bawah**

Station	Simpson	Total
1,4354	1	1,4354
1,3329	4	5,3316
1,0896	1	1,0896
Σ Luas Statioan		2,618866667

g. **Station 4 Atas**

Station	Simpson	Total
3,1168	1	3,1168
1,984	4	7,936
1,5369	1	1,5369
Σ Luas Statioan		4,196566667

h. **Station 4 Bawah**

Station	Simpson	Total
1,0896	1	1,0896
1,0013	4	4,0052
1	1	1
Σ Luas Statioan		2,0316

i. **Station 5 Atas**

Station	Simpson	Total
1,5369	1	1,5369
1,4505	4	5,802
1,4505	1	1,4505
Σ Luas Statioan		2,9298

j. **Station 5 Bawah**

Station	Simpson	Total
1	1	1
1	4	4
1	1	1
Σ Luas Statioan		2

k. Station 6 Atas

<i>Station</i>	<i>Simpson</i>	<i>Total</i>
1,4505	1	1,4505
1,4438	4	5,7752
1,5337	1	1,5337
Σ Luas Statioan		2,9198

l. Station 6 Bawah

<i>Station</i>	<i>Simpson</i>	<i>Total</i>
1	1	1
1	4	4
1	1	1
Σ Luas Statioan		2

m. Station 7 Atas

<i>Station</i>	<i>Simpson</i>	<i>Total</i>
1,5337	1	1,5337
1,7494	4	6,9976
2,0755	1	2,0755
Σ Luas Statioan		3,5356

n. Station 7 Bawah

<i>Station</i>	<i>Simpson</i>	<i>Total</i>
1	1	1
1,0008	4	4,0032
1,0406	1	1,0406
Σ Luas Statioan		2,0146

o. Station 8 Atas

<i>Station</i>	<i>Simpson</i>	<i>Total</i>
2,0755	1	2,0755
2,3987	4	9,5948
2,6304	1	2,6304
Σ Luas Statioan		4,7669

p. Station 8 Bawah

<i>Station</i>	<i>Simpson</i>	<i>Total</i>
1,0406	1	1,0406
1,1354	4	4,5416
1,1787	1	1,1787
Σ Luas Statioan		2,253633333

q. Station 9 Atas

<i>Station</i>	<i>Simpson</i>	<i>Total</i>
2,6304	1	2,6304
2,5367	4	10,1468
2,1497	1	2,1497
Σ Luas Statioan		4,975633333

r. Station 9 Bawah

<i>Station</i>	<i>Simpson</i>	<i>Total</i>
1,1787	1	1,1787
1,1726	4	4,6904
1,1271	1	1,1271
Σ Luas Statioan		2,332066667

s. Station 10 Atas

<i>Station</i>	<i>Simpson</i>	<i>Total</i>
2,1497	1	2,1497
1,5821	4	6,3284
0,5348	1	0,5348
Σ Luas Statioan		3,0043

t. Station 10 Bawah

<i>Station</i>	<i>Simpson</i>	<i>Total</i>
1,1271	1	1,1271
1,0736	4	4,2944
1,0305	1	1,0305
Σ Luas Statioan		6,452

2. Tabel Perhitungan Tinggi Fouling

No	Luas Permukaan Station	Tinggi Fouling	Total
1	1,042833	0,900	0,9386
2	2,051900	1,000	2,0519
3	4,951867	0,800	3,9615
4	2,628867	0,900	2,3660
5	7,316500	0,700	5,1216
6	2,618867	0,750	1,9642
7	4,196567	0,550	2,3081
8	2,031600	0,600	1,2190
9	2,929800	0,650	1,9044

10	2,000000	0,650	1,3000
11	2,919800	0,700	2,0439
12	2,000000	0,750	1,5000
13	3,535600	0,650	2,2981
14	2,014600	0,700	1,4102
15	4,766900	0,600	2,8601
16	2,253633	0,700	1,5775
17	4,975633	0,700	3,4829
18	2,332067	0,750	1,7491
19	3,004300	0,800	2,4034
20	6,452000	0,700	4,5164
Σ1	66,023333	Σ2	49,8422

3. Nilai rata-rata fouling

	Formula	Nilai	Dimensi
Tinggi rata-rata pertumbuhan <i>marine fouling</i>	$\Sigma 2 / \Sigma 1 =$	0,711518175	mm

LAMPIRAN D

Perhitungan Validasi C_f

Dalam perhitungan validasi ini kapal dihitung presentasi selisih antara nilai c_f yang dihitung dengan menggunakan rumus empiris dengan nilai c_f dalam kapal model CFD. Dalam menghitung nilai c_f smooth wall menggunakan ITTC, kapal dengan kekasaran merata menggunakan metode schlichting dalam buku bondary layer, sebagai mana yang telah dijelaskan dalam bab 4.8. berikut ini perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan rumus empiris.

1. *Smooth C_f*

$$Re = L \cdot V / \nu = 92.15 \times 6.173 \text{ m/s} / 8.9 \cdot 10^{-7} = 6,39 \cdot 10^8$$

$$\begin{aligned} C_f &= 0,075 / \log (Re-2)^2 \\ &= 0,075 / \log (6,39 \cdot 10^7 - 2) \\ &= 0,000967 \end{aligned}$$

2. *Reguler Roughness*

$$\begin{aligned} C_f &= (1,894 + 1,62 \log (1/k_s))^{-2.5} \\ &= (1,894 + 1,62 \log (92.15/0.007))^{-2.5} \\ &= 0,0046545 \end{aligned}$$

Dalam menentukan nilai C_f pada kekasaran tidak merata menggunakan maka harus dilakukan secara manual satu-satu pada masing-masing bagian, berikut ini contoh perhitungn *irreguler roughness*.

3. *Irreguler Roughness*

$$\begin{aligned} C_f &= (2,87 + 1,5 \log (x/k_s))^{-2.5} \\ &= (2,87 + 1,5 \log (9/0.010))^{-2.5} \\ &= 0.00636 \end{aligned}$$

Hasil dari perhitungan, dapat dilihat dalam tabel dibawah ini.

ST	Tinggi fouling	Luas Station (A)	C_f irreguler
1	0,010	23,88	0,00636
2	0,008	103,70	0,00604
3	0,007	120,02	0,00597
4	0,005	143,55	0,00558

5	0,006	151,54	0,00580
6	0,007	152,68	0,00592
7	0,006	149,60	0,00579
8	0,007	143,38	0,00598
9	0,009	134,24	0,00626
10	0,009	46,97	0,00631
		1169,55	0,00593
		Total luasan	Nilai Cf

Setelah didapatkan nilai Cf dengan menggunakan perhitungan empiris selanjutnya dilakukan penentuan Cf dari model di CFX. Dalam hal ini, untuk menentukan Cf dicari nilai Rf terlebih dahulu dengan cara mengalikan antara Shear wall terhadap luasan. Selanjutnya baru ditentukan nilai Cf dengan menggunakan formulasi (Wiley, 1983) berikut ini:

$$C_f = R_f / (0,5 \cdot \rho \cdot S \cdot V^2)$$

1. Kapal lambung halus

$$R_f = \tau_w \cdot A = 18,3 \times 1723 = 31530$$

$$C_f = R_f / (0,5 \cdot \rho \cdot S \cdot V^2) = 31530 / (0,5 \cdot 997 \cdot 1723 \cdot 6,13^2) = 0,000997$$

2. Kapal lambung kasar merata

$$R_f = \tau_w \cdot A = 90,8 \times 1723 = 156475$$

$$C_f = R_f / (0,5 \cdot \rho \cdot S \cdot V^2) = 156475 / (0,5 \cdot 997 \cdot 1723 \cdot 6,13^2) = 0,004848$$

3. Kapal lambung kasar tidak merata, dicari dalam tabel dibawah ini :

Tabel Perhitungan irregular roughnes C_f pada Ansys CFX

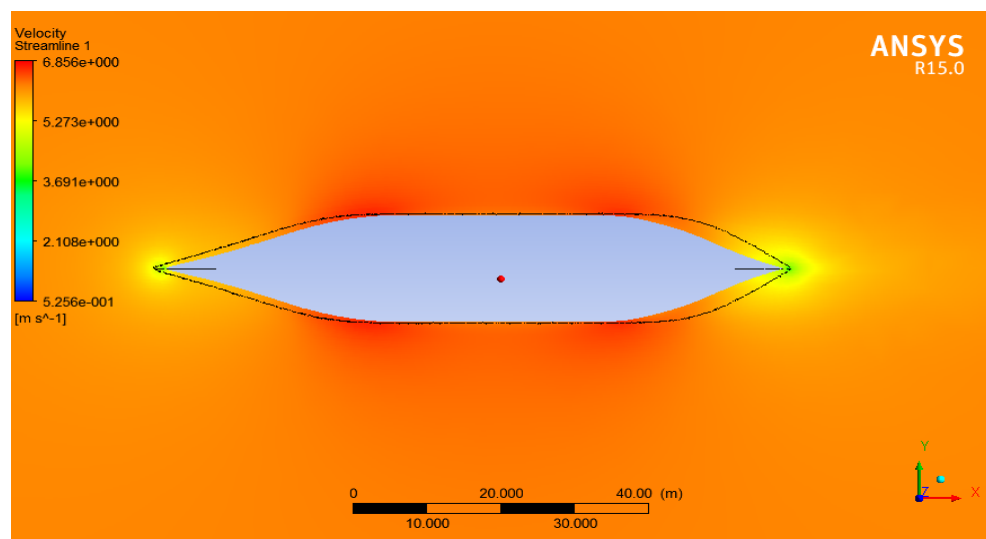
Shear wall (input)	Luas (input)	RF (Shear wall*luas)	Cf
122,126	23,878	2916,149	0,007
125,440	103,699	13007,952	0,007
118,422	120,018	14212,724	0,006
94,826	143,546	13611,855	0,005
88,647	151,543	13433,805	0,005
82,273	152,681	12561,478	0,004
78,678	149,599	11770,180	0,004
83,225	143,375	11932,356	0,004
89,179	134,239	11971,340	0,005
60,433	46,970	2838,521	0,003
		Cf rata	0,00504

LAMPIRAN E

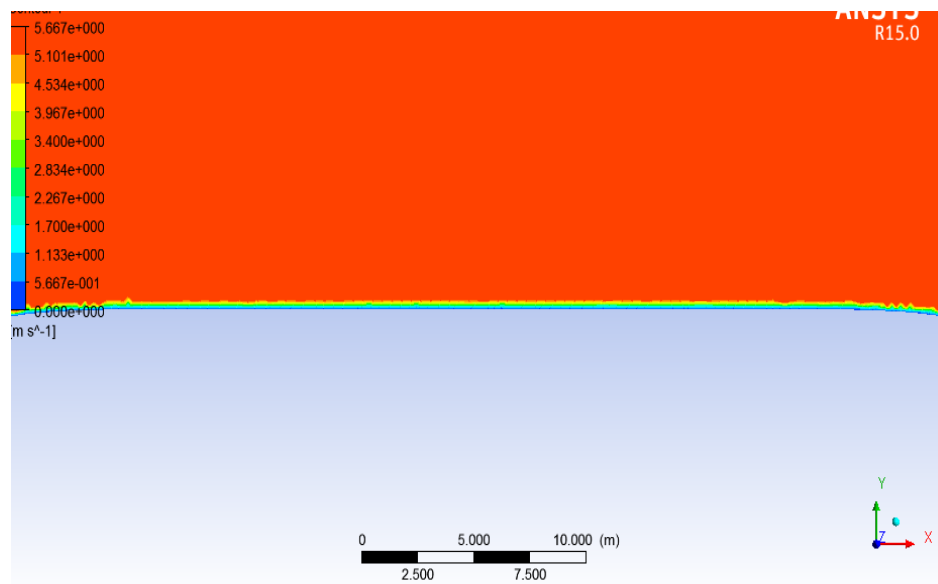
Model Kapal *Running*

Pada model kapal ini ditunjukkan adanya perbedaan kecepatan dan turbulensi aliran yang diakibatkan oleh kekasaran pada permukaan, pada bagian satu menunjukkan kapal yang halus tanpa kekasaran dan pada bagian yang kedua menunjukkan kapal dengan kekasaran.

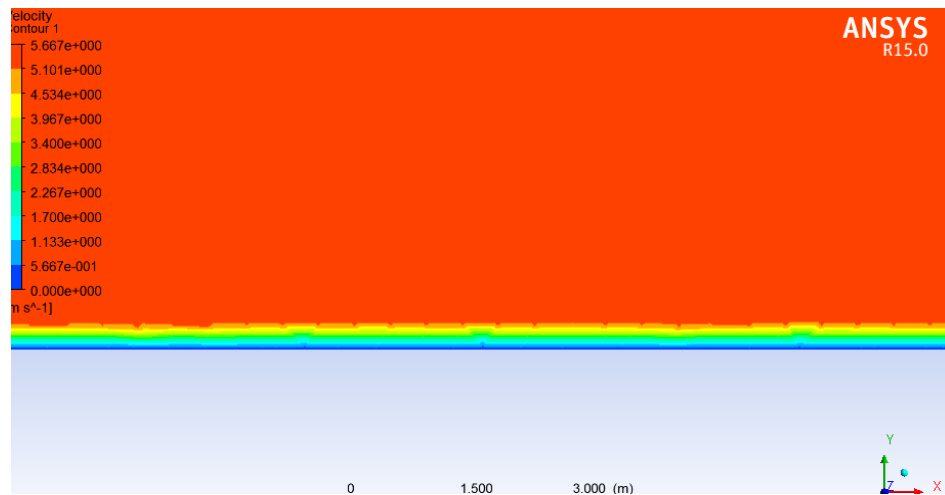
1. Tanpa kekasaran



Gambar E. 1 Penampang dari Atas *Smooth*

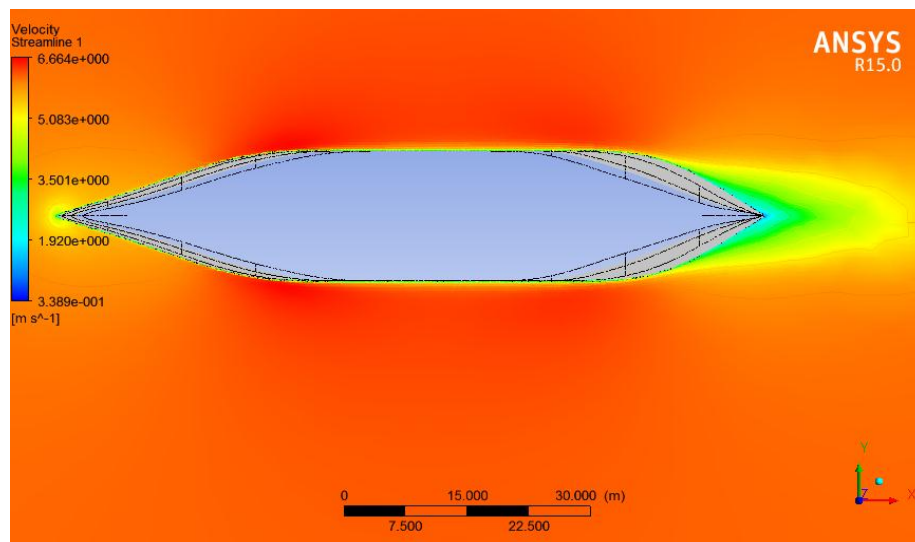


Gambar E. 2 Perbesaran Bagian *Hull*

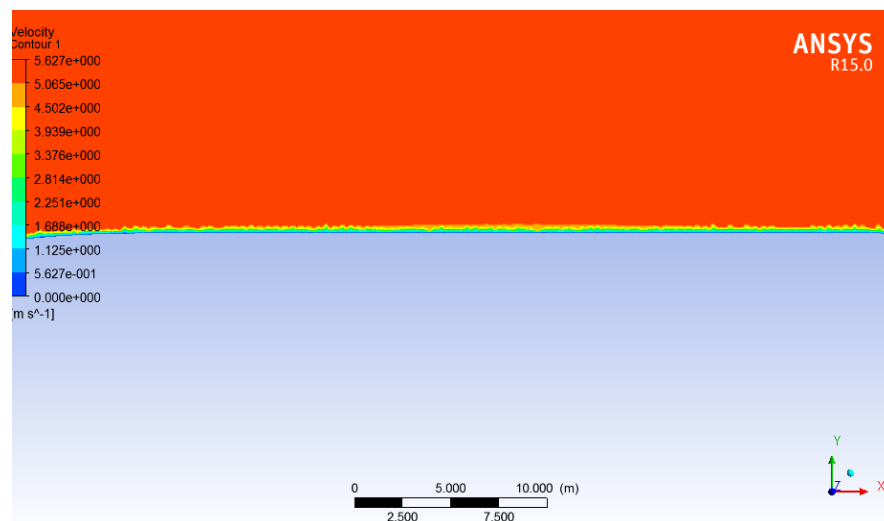


Gambar E. 3 Aliran *Streamline* Perbesaran *Hull*

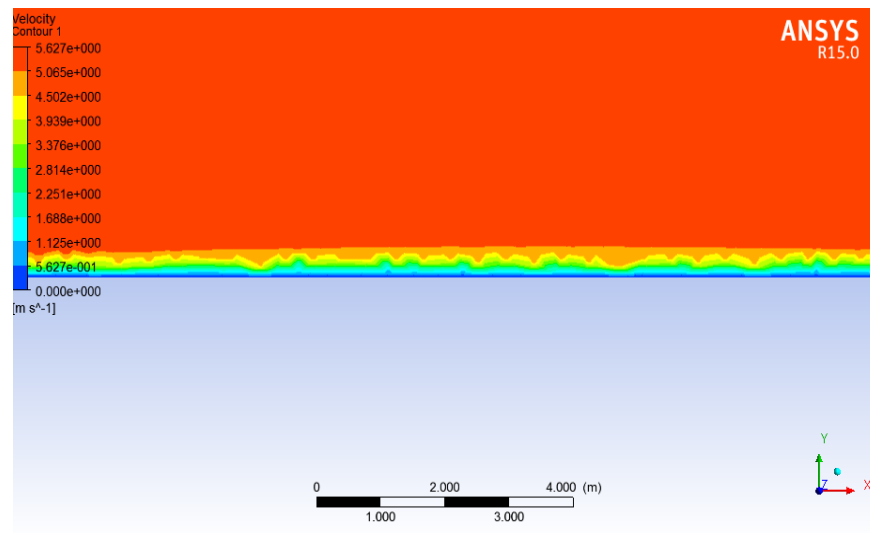
2. Dengan Kekasaran



Gambar E. 4 Penampang dari Atas *Roughness*



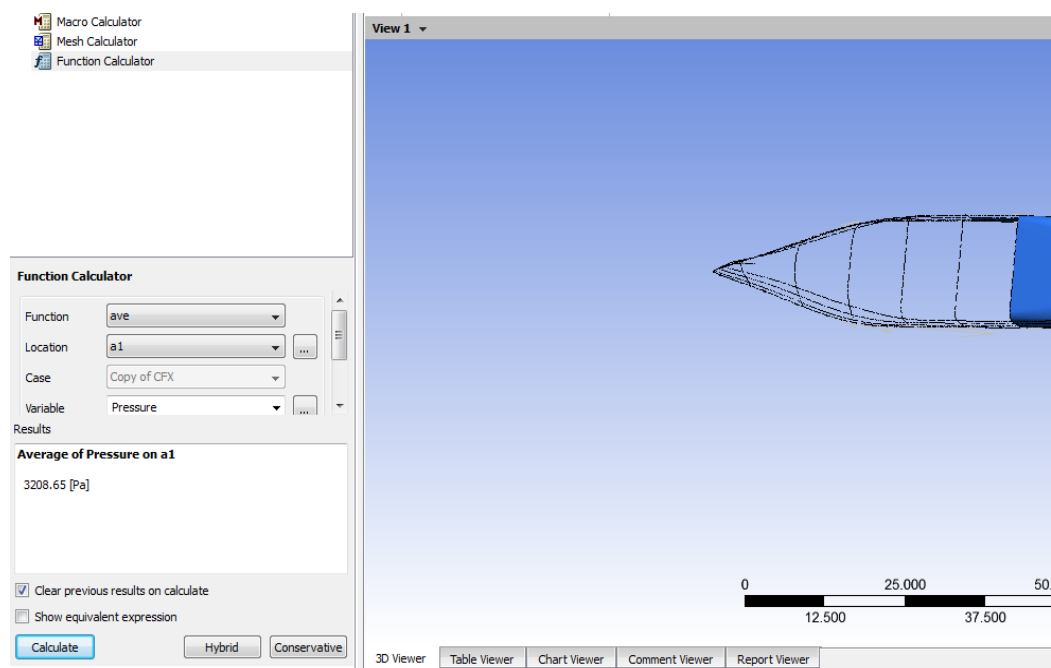
Gambar E. 5 Penampang dari Atas Diperbesar



Gambar E. 6 Penampang dari Atas Diperbesar Maksimum Terlihat Turbulensi

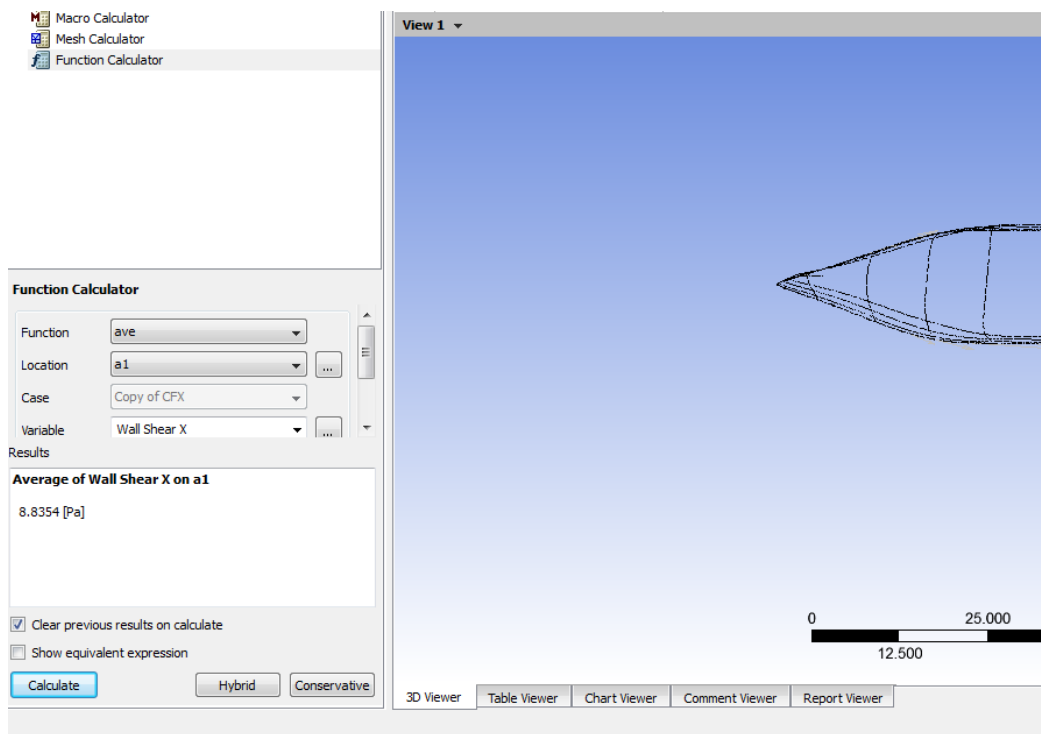
Pada bagian ini digambarkan bagaimana input nilai tegangan geser searah sumbu x, kecepatan, tekanan serta turbulensi energi kinetik

1. Mendapatkan nilai pressure



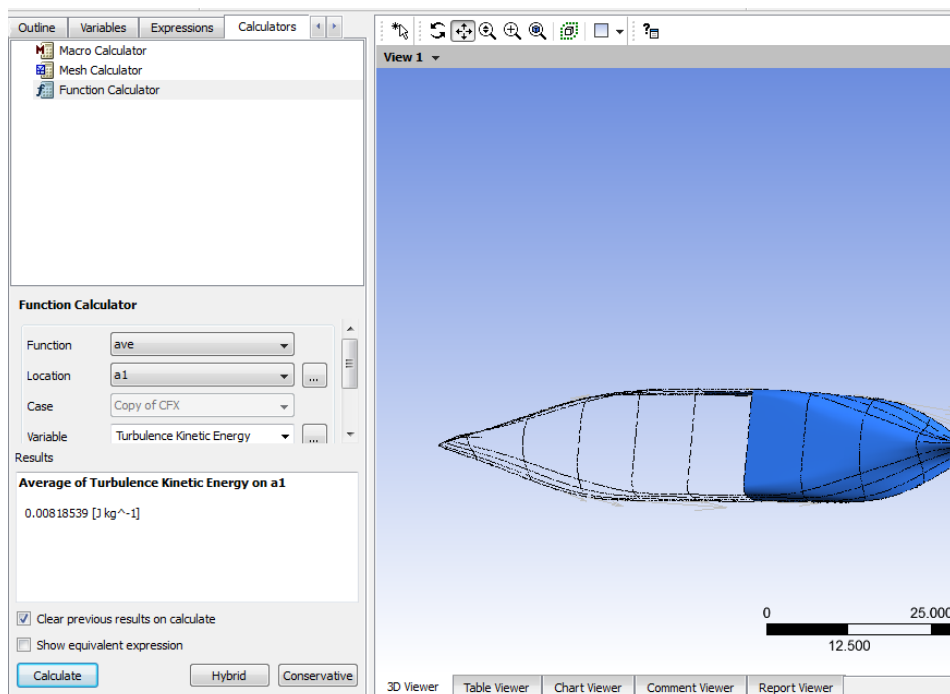
Gambar E. 7 Menacari Nilai Pressure

2. Mendapatkan nilai tegangan geser



Gambar E. 8 Mencarai Nilai Tegangan Geser

3. Mendapatkan nilai turbulensi kinetic



Gambar E. 9 Mencarai Turbulence Kinetik Energi

BIODATA PENULIS



Muhammad Nizar Nurrohman, 24 Juni 1993 penulis dilahirkan di kota Trenggalek, Jawa Timur. Penulis merupakan anak kedua dari pernikahan Gusani dan Emy Rohmawati. Penulis menempuh pendidikan formal di kota kelahiran dari TK BA Aisiyah, MI Muhammadiyah Salamrejo, beranjak remaja penulis meneruskan sekolah di MTs Negeri Model Trenggalek dan SMA Negeri 1 Trenggalek. Penulis diterima di jurusan teknik perkapalan ITS pada tahun 2012. Penulis mengambil Bidang Rekayasa-Hidrodinamika Kapal dan membuat tema terkait pertumbuhan marine fouling pada lambung kapal pada Tugas Akhirnya.

Email : monera99port@gmail.com

CP : 085755467981